

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE DE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**MEJORA A PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EQUIPOS**  
**CENTRAL TÉRMICA HOSPITAL REGIONAL DR. GUILLERMO GRANT**  
**BENAVENTE**

Trabajo de Titulación para optar al Título  
de Ingeniería en Ejecución Mecánica de  
Procesos y Mantenimiento Industrial

Alumna:

Solange Fernanda Gallegos Blanco

Profesor Guía:

Eduardo Aracena Cuellar

## **DEDICATORIA**

En primer lugar dedico este trabajo con todo el cariño a mi mamá por su apoyo, consejos y amor, siempre indicándome el camino correcto y entregando los valores para ser una mejor persona día a día.

A mi papá por su apoyo y cariño y a toda mi familia que me ha acompañado en este proceso.

A los grandes amigos que encontré en este camino que nos acompañamos durante 5 años y a los amigos que siempre han estado ahí, entregando sus buenas vibras y apoyo.

Y por último, a los buenos profesores que entregaron sus conocimientos, sabiduría y apoyo al servicio de sus alumnos.

## **RESUMEN**

**KEYWORDS:** MANTENIMIENTO. PREVENTIVO, CONFIABILIDAD, FIABILIDAD, CENTRAL, TÉRMICA, HOSPITAL, REGIONAL.

En el siguiente trabajo se realizó el desarrollo de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos del hospital regional Guillermo Grant Benavente de la ciudad de Concepción. Esto ya que en el periodo 2016-2017 en el hospital regional de concepción se llevó a cabo un reacondicionamiento de equipos al enfoque de eficiencia energética en edificios públicos, esto implicó la llegada de equipos generadores de vapor y agua caliente sanitaria, en este caso, una caldera de vapor, calderas de condensación y bombas de calor, como equipos principales.

Se realizó la recopilación de los documentos y se determinó necesaria la modificación de plan entregado por los fabricantes, esto por consideración del departamento de desarrollo industrial que se desempeña dentro del centro de responsabilidades de operaciones de HGGB.

Para cumplir con el desarrollo del plan de mantenimiento se determinó como objetivo general, homologar el plan de mantenimiento entregado a un enfoque RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad), que permita un funcionamiento correcto de los equipos, el cual vaya de la mano con las necesidades de los usuarios del hospital regional, y que cumpla con todas las condiciones que implica un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, para lograr lo anterior se llevaron a cabo diferentes puntos.

El primer paso fue realizar una descripción de los equipos para conocer su funcionamiento y tecnología, determinando la función principal de los equipos y sus componentes, además las condiciones de trabajo en las que estos se encuentran, luego se determinaron los modos de fallos que los equipos pueden presentar y que interfieren en el correcto funcionamiento de ellos y por último se realizó una análisis de criticidad tomando como concepto la seguridad, salud y medio ambiente que permitió clasificar los equipos en los diferentes niveles de criticidad, con todos estos antecedentes que se analizaron en conjunto, se logró determinar las actividades de mantenimiento que mejor cumplían con las diferentes necesidades de cada equipo y componente, las tareas se definen como actividades preventivas que se desarrollaran con diferentes periodicidades que pueden ser diarias, mensuales, trimestral, semestrales y anuales, según la condición de cada equipo, con ello se logró cumplir el objetivo general que indicaba homologar un plan de mantenimiento a un enfoque RCM, este plan permitirá un correcto y mayor tiempo de funcionamiento que responderá a la demanda de los usuarios del hospital regional.

## ÍNDICE

1	CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Introducción .....	2
1.2	Objetivos .....	3
1.2.1	Objetivo general .....	3
1.2.2	Objetivos específicos .....	3
2	CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
2.1	Antecedentes de la empresa. ....	5
2.1.1	Hospital regional Guillermo Grant Benavente.....	5
2.1.2	Descripción del plan de mantenimiento actual en HGGB .....	5
2.2	Antecedentes técnicos .....	6
2.2.1	Central térmica .....	7
2.2.2	Equipos originales generadores de agua caliente y vapor.....	8
2.2.3	Descripción de circuito térmico original en el hospital .....	10
2.2.4	Propuesta del proyecto .....	11
2.2.5	Modificaciones a realizar en el PEEEP:.....	11
2.2.6	Equipos Principales:.....	12
2.2.7	Equipos secundarios:.....	15
2.2.8	Descripción de la operación del proyecto implementado .....	17
2.3	Definición del problema.....	20
3	CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.....	21
3.1	Mantenimiento Industrial .....	22
3.2	Evolución del mantenimiento .....	23
3.2.1	Primera generación.....	23
3.2.2	Segunda generación .....	23
3.2.3	Tercera generación .....	24
3.3	La importancia del mantenimiento en recintos hospitalarios.....	26
3.3.1	Importancia del mantenimiento desde el punto de vista de gestión.....	27
3.3.2	Importancia desde el punto de vista del paciente.....	27
3.4	Mantenimiento en recintos hospitalarios .....	28
3.5	Mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	29
3.6	Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	34
4	CAPÍTULO 4: DISEÑO DE SOLUCIÓN.....	35

4.1	Metodología .....	36
4.1.1	Descripción del funcionamiento, parámetros de control y tecnología de los equipos .....	36
4.1.2	Determinación de los modos de fallas del sistema como insumo para el plan de mantenimiento basado en RCM .....	36
4.1.3	Análisis de criticidad de los equipos nuevos de la central térmica en el contexto de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad.....	40
4.1.4	Identificación de las tareas o actividad claves para la elaboración del plan de mantenimiento.....	43
4.2	Resultados .....	45
4.2.1	Descripción del funcionamiento, parámetros de control y tecnología de los equipos. ....	45
4.2.2	Determinación modos de fallos de equipos principales.....	61
4.2.3	Análisis de criticidad de los equipos nuevos de la central térmica en un contexto de mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	64
4.2.4	Identificación de las tareas o actividades claves para la elaboración del plan de mantenimiento .....	71
5	CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
5.1	Conclusiones .....	74
5.2	Recomendaciones.....	75
6	Bibliografía y fuentes de información.....	76
7	Anexos .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Esquema de generación de ACS y ACC para CAA.....	10
Figura 2-2: Esquema de generación de vapor para MBK y TPC.....	11
Figura 2-3: Sistema de control .....	13
Figura 2-4: Calderas de condensación. ....	13
Figura 2-5: Bombas de calor .....	14
Figura 2-6: Caldera generadora de vapor.....	14
Figura 2-7: Intercambiador de calor de placas. ....	15
Figura 2-8: Estanque de inercia.....	16
Figura 2-9: Bombas centrífugas. ....	16
Figura 2-10: Estanque de expansión. ....	17
Figura 2-11: Nuevo sistema de generación de ACS y ACC. ....	18
Figura 2-12: Nuevo sistema generador de vapor. ....	19
Figura 3-1: Evolución de expectativa del mantenimiento. ....	24
Figura 3-2: Cuarta generación del mantenimiento.....	25
Figura 3-3: Gasto público en salud. ....	27
Figura 4-1: Ejemplo de modo de fallo de una bomba.....	37
Figura 4-2: Árbol lógico de decisión o diagrama de decisión. ....	44
Figura 4-3: Cuerpo de caldera pirotubular. ....	47
Figura 4-4: Cuerpo interno de la caldera.....	49
Figura 4-5: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor. ....	52
Figura 4-6: Esquema de separación de funciones principales de generación de vapor. ...	65
Figura 4-7: Esquema de separación de funciones principales de generación de ACS y ACC. ....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Consumo de combustible durante el año 2016.....	7
Tabla 2-2: Demanda anual de servicios. ....	8
Tabla 2-3: Características técnicas caldera pirotubular a gas natural, registro N° SSSCON-20.....	8
Tabla 2-4: Características técnicas caldera pirotubular a carbón, registro N° SSSCON-119. ....	9
Tabla 2-5: Características técnicas caldera calentadoras de agua. ....	9
Tabla 2-6: Consumo de vapor con la implementación del proyecto.....	12
Tabla 4-1: Clasificación de la redundancia. ....	40
Tabla 4-2: Consecuencia general de la clasificación. ....	41
Tabla 4-3: Características técnicas caldera vapor. ....	45
Tabla 4-4: Ficha técnica bomba de calor. ....	51
Tabla 4-5: Características técnicas caldera de condensación.....	57
Tabla 4-6: Modos de fallo de intercambiador de calor de caldera vapor.....	62
Tabla 4-7: Modos de fallos de intercambiador de calor de caldera vapor. ....	63

## SIGLA

ACC	:	Agua Caliente de Calefacción
ACS	:	Agua Caliente Sanitaria
AChEE:		Agencia Chilena de Eficiencia energética
ACHS	:	Asociación Chilena de Seguridad
ALD	:	Árbol Lógico de Decisión
AMEF:		Análisis de modos de fallo y efectos
CAA	:	Centro de Atención Ambulatoria
COP	:	Coefficiente de rendimiento térmico
COPSA:		Asociación de concesionarios de obras de infraestructura pública
CR	:	Centro de responsabilidades
EE	:	Eficiencia energética
ERP	:	Energy Related Products (Normativa de diseño ecológico)
GES	:	Garantías Explícitas en Salud
GN	:	Gas Natural
HGGB:		Hospital Guillermo Grant Benavente
MB	:	Monoblock
MCC	:	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
MF	:	Función principal
MINSAL:		Ministerio de Salud
PCI	:	Poder Calorífico inferior
PCS	:	Poder Calorífico Superior
PEEEP:		Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos
RAE	:	Real Academia Española
RCM	:	Reliability Centred Maintenance
SAE	:	Society Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices)
SCI	:	Sistema de Control Integral
TPC	:	Torre de Paciente Crítico

UMA : Unida Manejadora de Aire

### SIMBOLOGÍA

% : Porcentaje

°C : Grados Celsius

bar : Unidad de presión

Hz : Hercio

kcal/h : Kilo calorías por hora

kg/cm<sup>2</sup>: Kilogramos por centímetro cuadrado

kgv/h : Kilogramos de vapor por hora

kW : Kilo watt

l : Litro

m<sup>2</sup> : Metro cuadrado

m<sup>3</sup>/h : Metro cubico por hora

mm : Milímetros

MW : Mega Watt

MWh : Mega Watt hora

psi : Libra por pulgada cuadrada

T/h : Tonelada por hora.

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El hospital regional Guillermo Grant Benavente ubicado en el centro de la ciudad de Concepción, contaba con una central térmica que utilizaba gas natural y carbón para la producción de agua caliente y vapor, esta central térmica es la encargada de abastecer a los edificios presentes en el hospital denominados como monoblock, centro de atención ambulatoria y torre de pacientes críticos. Debido a la importancia que posee el desarrollo general del hospital es necesario que todos los equipos funcionen correctamente, por lo cual, es de suma relevancia cumplir con los parámetros de mantenimiento establecidos para cada componente de la central.

Actualmente en el hospital se desarrolla un proyecto de eficiencia energética <sup>1</sup> para hospitales de alta complejidad<sup>2</sup>, lo que conlleva la instalación de nuevos equipos en la central térmica los cuales cuentan con nuevas normativas de eficiencia energética, dejando de lado el uso de carbón como combustible en los equipos. Debido a este recambio es que se considera relevante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, que asegure el correcto funcionamiento, aumente la vida útil de los equipos, cumpla con los objetivos del proyecto de eficiencia y que además sirva como referente para las empresas externas que realizan el mantenimiento en la central térmica.

Para comenzar se realizará un estudio general de la central térmica, describiendo sus equipos antiguos y nuevos, con el fin de conocer su función y la importancia que estos equipos tienen en la producción de servicios generales para el hospital.

Luego de realizar los diferentes estudios continuará el diseño de solución propuesto, que consta de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad el cual abarca

---

<sup>1</sup> El uso eficiente de la energía es reducir la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que utilizamos, pero conservando la calidad y el acceso a bienes y servicios.

<sup>2</sup> Artículo 44, decreto supremo 140 del ministerio de salud.

el diseño de una ruta de inspección para los equipos, determinación de equipos y componentes críticos dentro de la instalaciones nuevas en la central térmica, todo ello con el fin de generar un funcionamiento correcto de los equipos generadores de vapor y agua caliente.

## 1.2 **OBJETIVOS**

### 1.2.1 Objetivo general

Homologar plan de mantenimiento de equipos principales instalados en la central térmica del hospital regional de concepción al enfoque RCM (Mantenimiento Centrado Fiabilidad).

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a. Describir el funcionamiento, parámetros de control y tecnología de los equipos.
- b. Determinar los modos de fallas del sistema como insumo para el plan de mantenimiento basado en RCM.
- c. Analizar la criticidad de los equipos nuevos de la central térmica en el contexto de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad.
- d. Identificar las tareas o actividad claves para la elaboración del plan de mantenimiento.

## **CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **2.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.**

### **2.1.1 Hospital regional Guillermo Grant Benavente.**

El Hospital Clínico Regional Dr. Guillermo Grant Benavente fue fundado junto a la ciudad de Concepción en 1550, llamado en ese entonces Hospital San Juan de Dios o de la misericordia. El hospital adopta el actual nombre de forma oficial en 1945 cuando la Universidad de Concepción cede dos edificios que funcionaban como facultades de Leyes y Educación. Luego de un brusco aumento poblacional en 1987 se construye el edificio antiguo con 6 pisos y un zócalo, cuya superficie es de 11.000 metros cuadrados y fue denominada como Torre de servicios de urgencia. En el año 2010 se inaugura el nuevo centro de atención ambulatoria, edificio de 6 pisos con 18.000 metros cuadrados construidos.

Según [Ministerio de Salud, 2005] El Hospital es el establecimiento destinado a proveer prestaciones de salud para la recuperación, rehabilitación y cuidados paliativos de personas enfermas y colaborar en las actividades de fomento y protección, mediante acciones ambulatorias o en atención cerrada. Al Hospital le corresponderá otorgar, dentro de su ámbito de competencia, las prestaciones de salud que el Director del Servicio le asigne de acuerdo a las normas técnicas que dicte el Ministerio de Salud sobre la materia. Con tal objeto propenderá también al fomento de la investigación científica y al desarrollo del conocimiento de la medicina y de la gestión hospitalaria.

El hospital cuenta con el áreas para el correcto funcionamiento de los servicios, esta áreas son recurso humanos, CAA, medica, gestión del cuidado y administrativa, esta última es el área encargadas de los diferentes centros de responsabilidades, donde el C.R. operaciones está a cargo de las actividades que tienen relación al mantenimiento industrial.

### **2.1.2 Descripción del plan de mantenimiento actual en HGGB**

El objetivo es estandarizar un programa de mantenimiento preventivo del equipamiento e instalaciones industriales con el propósito de obtener un funcionamiento continuo y confiable, para la seguridad de los pacientes.

El programa de mantenimiento preventivo se aplicara en las instalaciones y equipamientos industriales en dependencias del hospital Guillermo Grant Benavente.

Se incluyen las siguientes familias de equipos industriales:

- Ascensores.
- Calderas.
- Sistemas de aspiración y gases clínicos.
- Sistema de climatización para unidades y áreas clínicas relevantes.
- Techumbres.

La responsabilidad del cumplimiento del siguiente programa, será del departamento de desarrollo industrial.

**Desarrollo:**

El CR Operaciones, dependiente de la Sub dirección Administrativa del hospital, deberá mantener un inventario al día, de cada uno de los equipos industriales componentes a cada familia considerada en el presente programa de mantenimiento.

En el caso que el mantenimiento no se realice dentro del periodo señalado, por motivos de justificación (falta de autorización clínica en acceso al recinto, equipo conectado a paciente grave, equipo fuera de servicio por espera de recepción de repuesto importante y/o financiamiento), este mantenimiento se podrá realizar en el siguiente periodo. No obstante, lo anterior, las actividades de mantenimiento preventivo programadas para el periodo siguiente no sufrirán modificaciones.

Por cada equipo que se realice mantenimiento, los técnicos deben entregar al encargado del programa de mantenimiento preventivo equipamiento industrial, una copia de la hoja de servicio que debe registrar la identificación del equipo, estado del equipo, observaciones, identificación del técnico que realiza la mantención, identificación del profesional que recibe el equipo que se hizo mantenimiento y la fecha.

Si el profesional que recibe un equipo, no está conforme con el trabajo realizado, tiene el derecho de dejar constancia en la hoja de servicio. En las observaciones, el servicio técnico debe registrar la necesidad de repuestos con las correspondientes características u otras que estime relevante para el buen funcionamiento del equipo.

**2.2 ANTECEDENTES TÉCNICOS**

### 2.2.1 Central térmica

El hospital cuenta con una sala térmica y dos sub estaciones. En la sala térmica se encuentran 3 calderas calentadoras de agua y 2 calderas generadoras de vapor, mientras que en las sub estaciones se encuentran intercambiadores de calor, boilers, estanques, bombas impulsadoras, etc. Todos estos equipos componen la generación de vapor y agua caliente.

Se identifican diferentes tipos de consumos los cuales están asociados a diferentes sectores del hospital. Los consumos considerados son:

- Consumo de calefacción.
- Consumo de agua caliente sanitaria.
- Consumo térmico en equipos médicos y técnicos (lavandería, cocina y esterilización) estos consumen vapor directamente.

Sectores que se alimentan de los servicios:

- Sector Monoblock (MBK).
- Sector centro de atención ambulatoria (CAA).
- Sector torre de pacientes críticos (TPC).

En la tabla 1 se aprecia el consumo de combustibles de los equipos generadores de vapor y agua caliente, se indica el sector respecto a la ubicación del equipo, no del sector en donde se consume. En la tabla 2-1 se puede observar la demanda por sector.

*Tabla 2-1: Consumo de combustible durante el año 2016.*

PERIODO 2016	GAS NATURAL (MW)			CARBÓN (MW)	TOTAL (MW)
	CAA	MB	RM	MB	
Enero	166	361	7	236	770
Febrero	148	479	4	0	631
Marzo	142	234	4	412	792
Abril	198	476	10	340	1024
Mayo	271	476	21	673	1441
Junio	293	411	27	829	1560
Julio	455	392	32	958	1837
Agosto	365	386	26	938	1715
Septiembre	332	455	25	760	1572
Octubre	259	398	22	740	1419

Noviembre	214	357	12	596	1179
Diciembre	169	186	10	636	1001
<b>Total</b>	<b>3012</b>	<b>4611</b>	<b>200</b>	<b>7118</b>	<b>14941</b>

(Fuente: Informe PEEP)

Tabla 2-2: Demanda anual de servicios.

Sector	Lugar de consumo	MWh/año
		Demanda
Monoblock	ACC	503
	Cocina (Vapor directo)	114
	Industriales (Vapor directo)	1.943
	ACS	1.639
	<b>Total</b>	<b>5.198</b>
TPC	ACC	713
	ACS	964
	Médicos (Vapor directo)	175
	<b>Total</b>	<b>1.852</b>
CAA	ACC	1.317
	ACS	1.393
	<b>Total</b>	<b>2.710</b>

(Fuente: Informe PEEP)

La demanda total del Monoblock y el TPC es de 7.050 [MWh/año]. Esta es suplida por las calderas de vapor operadas con gas natural y carbón.

#### 2.2.2 Equipos originales generadores de agua caliente y vapor

- 2 calderas de vapor de 5400 kg/h cada una. Una de las calderas es alimentada por carbón y la otra por gas natural, estas suplen a los sectores MB y TPC.

Tabla 2-3: Características técnicas caldera pirotubular a gas natural, registro N° SSCON-20.

Tipo	Escocesa, fondo húmedo 3 pasos.
Marca	Vapor industrial S.A.
Serie N°	95033

Año	1995
Superficie calefacción	195 m <sup>2</sup>
Consumo combustible estimado	260 m <sup>3</sup> /h
Capacidad	5.422 kg-v/h (100 °C)
Presión máxima de operación	7 bar
Presión máxima diseño (Prueba hidráulica)	105 psi
Tipo tubo 2do paso	Manesmann, diámetro 3", L: 4.600 mm
Tipo tubo 3er paso	Manesmann, diámetro 3", L: 5.398 mm

(Fuente: Elaboración propia.)

Tabla 2-4: Características técnicas caldera piro-tubular a carbón, registro N° SSSCON-119.

Tipo	Escocesa, fondo húmedo 3 pasos.
Marca	Vapor industrial S.A.
Serie N°	86021
Año	1986
Superficie calefacción	195 m <sup>2</sup>
Superficie calefacción emparrillado Q 36	3,72 m <sup>2</sup>
Consumo combustible operación	676 kg/h (Carboncillo CTX)
Capacidad	6.520 kg-v/h (100 °C) / 5.860 kg-v/h (65 °C)
Presión máxima de operación	7 bar
Presión máxima diseño (Prueba hidráulica)	105 psi
Tipo tubo 2do paso	Manesmann, diámetro 3", L: 4.600 mm
Tipo tubo 3er paso	Manesmann, diámetro 3", L: 5.398 mm

(Fuente: Elaboración propia.)

- 3 calderas de agua caliente de una potencia de 700 kW cada una. Estas calderas suplen la totalidad de los consumos térmicos del sector CAA.

Tabla 2-5: Características técnicas caldera calentadoras de agua.

Tipo	Caldera calentadora de agua
Marca	IVAR
Año	2008
Presión máxima de operación	6 bar
Potencia térmica	700 kW
Combustible	Gas natural

(Fuente: Elaboración propia.)

### 2.2.3 Descripción de circuito térmico original en el hospital

En la central térmica la generación de ACC y ACS para el edificio CAA proviene de las 3 calderas calentadoras que utilizan como combustible gas natural.

Estas calderas son alimentadas a través del sistema de agua potable. El ACS sale de las calderas impulsada por una bomba centrífuga hacia los intercambiadores de calor para aumentar aún más su temperatura, luego el agua es acumulada en dos estanques de 3000 L y es enviada desde los estanques al edificio CAA, toda el agua no utilizada retorna directamente a las calderas para dar inicio al proceso nuevamente.

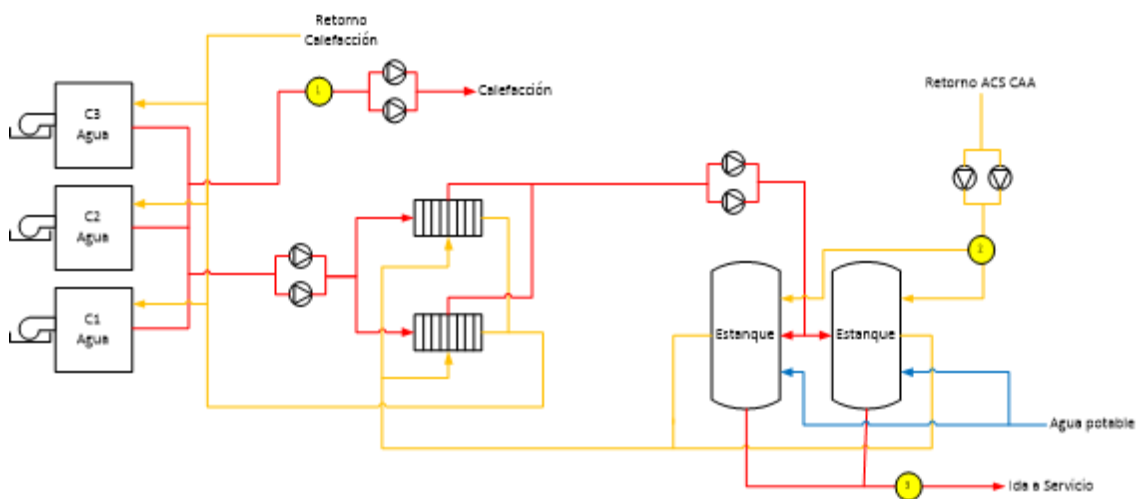


Figura 2-1: Esquema de generación de ACS y ACC para CAA.

(Fuente: Informe PEEP.)

La generación de vapor es por parte de dos calderas pirotubulares alimentadas una por gas natural y la otra por carbón.

El suministro de estas calderas es de agua anteriormente tratada en el sistema de ablandamiento. El vapor generado es distribuido a través del manifold a los edificios MBK y TPC para ACS y calefacción además de surtir vapor directo a esterilización y a la central de alimentación.

El ACS que suministra las calderas de vapor se genera a través de boilers en donde el vapor cumple la función de calentar el agua tanto para ACS y calefacción.

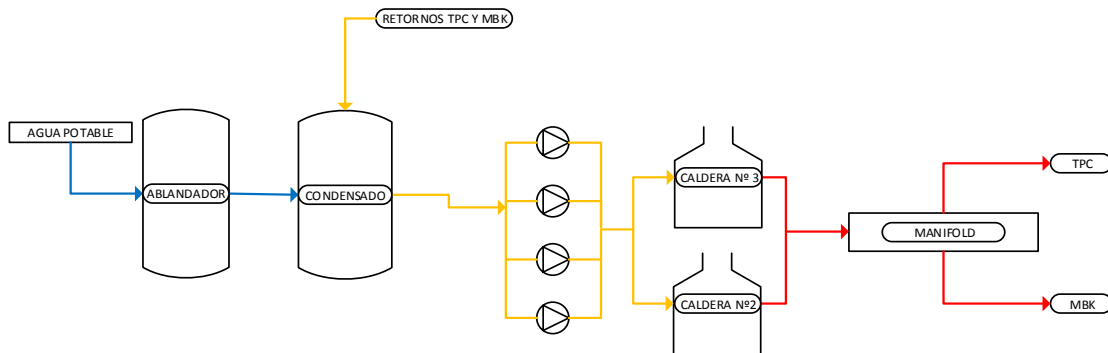


Figura 2-2: Esquema de generación de vapor para MBK y TPC.

(Fuente: Elaboración propia.)

#### 2.2.4 Propuesta del proyecto

Dentro de la línea de desarrollo de Edificación de la AChEE, se ejecuta la acción denominada "Reacondicionamiento y recambio tecnológico de edificaciones existentes e instalaciones municipales sin estándares de EE". Esta de acción está enfocada principalmente al desarrollo de proyectos de reacondicionamiento de edificaciones construidas sin estándares de eficiencia energética, con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso de la energía y, que a su vez los resultados ayuden a promover este tipo de proyectos en los distintos subsectores de la edificación, facilitando la promoción de nuevas formas de financiamiento de proyectos de Eficiencia Energética. Es así como el trabajo de esta línea ha permitido la creación de metodologías para la intervención integral de edificios, consolidadas a través del "Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos (PEEEP)".

#### 2.2.5 Modificaciones a realizar en el PEEEP:

El proyecto consiste en la implementación de medidas de eficiencia energética para el ahorro de energía. Las principales medidas del proyecto consisten en que varios de

los consumos de vapor se remplazarán por consumos de agua caliente; por tanto, la caldera de vapor es reemplazada por una caldera más pequeña, y se agregaran calderas de agua caliente para el resto de los servicios. Por lo tanto, el agua será utilizada para suministrar energía térmica en los sistemas de ACS y ACC de los sectores CAA y MBK. Para lo anterior se implementarán: 3 bombas de calor de 80 kW y 4 calderas de condensación de pie de 320 kW, las cuales junto a las calderas calentadoras de agua existentes (marca Ivar), serán operadas a través de un sistema de Control Integrado, el cual modulará la operación de los equipos térmicos jerarquizando sus partidas y paradas en función de la demanda y de la eficiencia de cada equipo. Para los usos en que es “inevitable” utilizar vapor, como es el caso del sector TPC y MBK (alimentación, esterilización y lavandería), se instalará una nueva caldera de vapor con quemador dual (GN/Diésel) de 2,3 ton/h, con mayor eficiencia que las actuales calderas de vapor. Adicionalmente se instalaran aireadores de agua (512 un) y se repondrá la aislación térmica, actualmente en mal estado, en cañería de agua caliente y vapor.

*Tabla 2-6: Consumo de vapor con la implementación del proyecto.*

	KW	kgv/h
Vapor directo	897	1.421
Calefacción TPC	353	558
ACS TPC	176	279
Total	1.426	2.258
Valor a usar		2.300

*(Fuente: Informe PEEEP)*

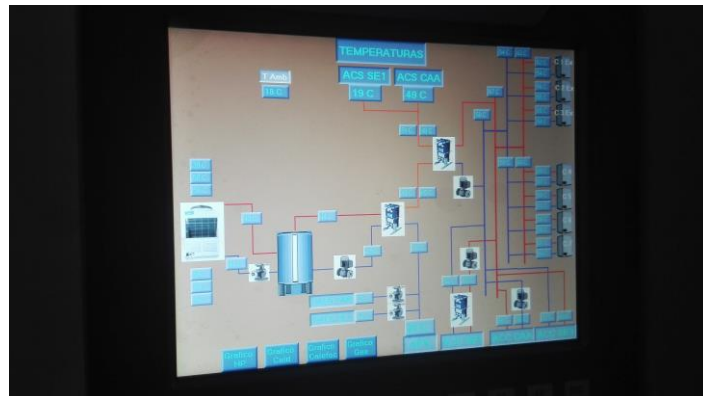
Las calderas de condensación en conjunto con las bombas de calor producen un máximo de 1280 kW, de ACC y ACS para los edificios CAA y MB.

#### 2.2.6 Equipos Principales:

El proyecto contempla la implementación del siguiente listado de equipos principales:

- a. Implementación Sistema de Control Integrado (SCI) Heat Guard.

Sistema de gestión de energía para optimizar los procesos de generación y transferencia de energía en la central térmica, con protocolo de lenguaje abierto y con funcionalidades optimizadas para un trabajo eficiente en hospitales, el cual es utilizado para la integración eficiente de todos los equipos.



*Figura 2-3: Sistema de control*

*(Fuente: Informe PEEEP.)*

b. Calderas de Condensación de pie de 320 kW.

Se instalaron Cuatro 4 calderas de condensación para reemplazar la generación de Agua Caliente de Calefacción (ACC) para Monoblock (MB) y Centro de Atención Ambulatoria (CAA). Anteriormente el ACC se surtía de vapor proveniente de las calderas de vapor de carbón y Gas Natural.



*Figura 2-4: Calderas de condensación.*

*(Fuente: Informe PEEEP.)*

c. Bombas de calor aerotérmicas de 80 kW.

Para reemplazar la generación de Agua Caliente Sanitaria, en MB y CAA se utilizan 3 Bombas de calor aerotérmicas de 80 kW, marca Midea – Carrier, con COP nominal de 4. Además de su respectivo sistema de intercambio de calor y bombeo controlado.



*Figura 2-5: Bombas de calor*

*. (Fuente: Informe PEEEP.)*

d. Caldera de Vapor a Gas Natural

Se debe continuar generando vapor para uso directo en esterilización, central de alimentación, lavandería y agua caliente de calefacción y sanitaria en TPC. Se instaló una caldera de 2,3 T/h de vapor a 6 bar. Combustible: quemador dual de Gas Natural (PCS = 9300 kcal/h) y diésel.



*Figura 2-6: Caldera generadora de vapor.*

*(Fuente: Informe PEEP.)*

### 2.2.7 Equipos secundarios:

#### a. Intercambiador de calor de placas

Para la transferencia de calor entre fluidos se utilizan en el proyecto 6 intercambiadores de calor de placas marca Cipriani, modelo p180 de 101 placas cada uno. Se instalan 2 de ellos para calentamiento ACS por parte de las bombas de calor y 2 más como respaldo de ACS por calderas. Se utilizan 2 más en sub estación 1 en líneas de calentamiento ACC monoblock.



*Figura 2-7: Intercambiador de calor de placas.*

*(Fuente: Informe PEEEP.)*

#### b. Estanque de inercia.

Se utiliza un estanque de inercia marca Winter de 10.000 litros para modular la energía aportada por las bombas de calor para calentamiento de ACS.



*Figura 2-8: Estanque de inercia.*

*(Fuente: Informe PEEEP.)*

c. Bombas recirculadoras

Se utiliza un total de (14) bombas recirculadoras adicionales en el proyecto. Estas son en su totalidad marca DAB de diferentes modelos.



*Figura 2-9: Bombas centrífugas.*

*(Fuente: Informe PEEEP.)*

d. Estanques de expansión

El proyecto utiliza una serie de estanques de expansión marca IMERA.



*Figura 2-10: Estanque de expansión.*

*(Fuente: Informe PEEEEP.)*

#### 2.2.8 Descripción de la operación del proyecto implementado

A continuación, se presenta una descripción de la operación del proyecto.

Con las 4 calderas de condensación, el sistema suministra agua entre 50°C y 75°C, según la carga térmica que se presente en cada instante, determinada por el sistema de control, la que se distribuye por el manifold de suministro hacia los intercambiadores de placas para la generación de ACS y hacia el circuito de calefacción por las líneas hacia el manifold, que derivan en las UMAS y Radiadores en las subestaciones térmicas.

El ACS es pre-calentada por el sistema de bombas de calor aerotérmica, antes de ingresar al circuito de intercambiadores de calor de placas de las calderas de condensación.

La circulación de agua es controlada según la demanda térmica de cada circuito de carga y según lo determine el Sistema de Control de la central térmica.

La generación de ACS en la central térmica, viene dada por la demanda de agua que entra a los intercambiadores en el circuito secundario (agua sanitaria), la que al pasar por ellos reciben por transferencia térmica de las placas el calor necesario para calentar el agua fría a unos 44°C a 47°C, el que se ira al consumo de duchas y lavamanos. La generación de ACS es instantánea, por lo que no existe acumulación en estanques de ACS. En primera instancia el agua fría sanitaria pasa por los intercambiadores de las bombas de calor aerotérmicas por medio del acumulador inercial, donde se precalienta entre 30°C y 49°C, según la energía almacenada en el acumulador. El circuito de retorno, compuesto por las

bombas de rotor húmedo, asegura que el ACS circule y esté disponible lo más cerca del punto de consumo (duchas, lavamanos) evitando las demoras en el suministro de ACS, y reingresándola al circuito de calentamiento (intercambiadores) en el punto de entrada de agua fría, generado un lazo cerrado de recirculación. La temperatura de retorno de ACS, debe estar a no más de 2°C a 4°C por debajo de la temperatura de salida del ACS, valores mayores implican problemas de aislación, obstrucción o falla de las bombas del circuito de retorno.

En el lado primario de los intercambiadores (lado circuito agua caliente calderas), el flujo o caudal de este circuito se mueve en función de la demanda del circuito secundario, accionando las bombas de recirculación para mantener estable la temperatura de ACS de salida. De esta forma, el circuito primario, que es un circuito cerrado y presurizado, transfiere más o menos energía térmica al secundario según sea la demanda.

El sistema de control (Heat Guard) es el cerebro de la central térmica, controla todas las variables y actúa sobre los elementos de control para optimizar el uso de la energía consumida por las calderas y de las bombas de calor. De esta forma, es capaz de controlar en tiempo real las transferencias térmicas, sin perder el nivel de confort del usuario.

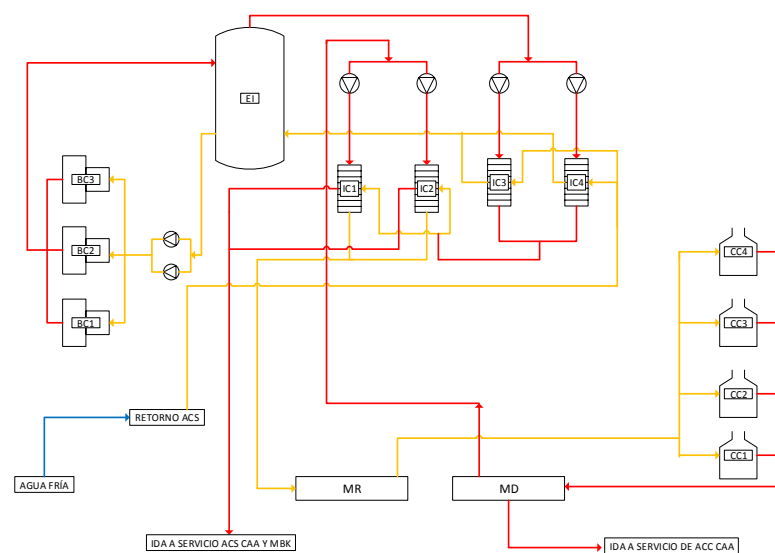


Figura 2-11: Nuevo sistema de generación de ACS y ACC.

(Fuente: Elaboración propia.)

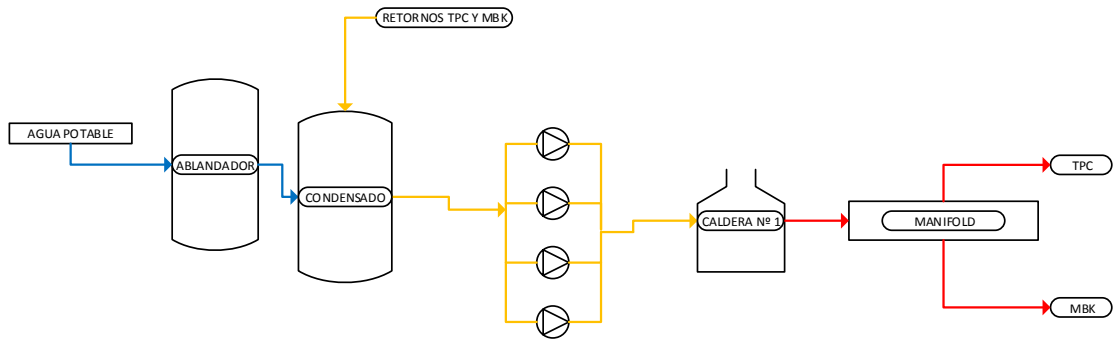


Figura 2-12: Nuevo sistema generador de vapor.

(Fuente: Elaboración propia.)

### 2.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Hospital Dr. Guillermo Grant Benavente ubicado en la ciudad de Concepción consta de una central térmica cuya función es alimentar las diferentes zonas que se encuentran en los edificios del hospital las cuales requieran agua caliente y vapor.

Actualmente en el hospital se desarrolla un programa de eficiencia energética en edificios públicos (PEEEP) dentro de la línea de desarrollo de edificación de la AChEE<sup>3</sup>, el cual consiste en reacondicionamiento y recambio tecnológico de edificaciones existentes en instalaciones municipales sin estándares de EE, esto debido a que los equipos presentes en la central térmica no cumplen con los estándares de eficiencia energética y nuevas tecnología que se requieren hoy en día. Con este proyecto se busca hacer uso eficiente de la energía del tipo combustible y energía térmica, para que con ello reducir el consumo y pérdidas de energías dentro de la central térmica.

Debido a este reacondicionamiento y recambio de equipos se hace entrega de un plan de mantenimiento recomendado para los equipos, producto a la condición de funcionamiento que tendrán los equipos se considera necesaria realizar una intervención al plan entregado, por lo tanto, se propone la realización de una mejora al plan de mantenimiento preventivo basado en el enfoque del mantenimiento centrado en la confiabilidad, para que con esto se asegure un correcto funcionamiento y disponibilidad de equipos principales, además que vaya de la mano con el proyecto de eficiencia energética cumpliendo con los estándares propuestos del uso eficiente de la energía.

---

<sup>2</sup>Fundación de derecho privado, sin fines de lucro, es un organismo autónomo, técnico y ejecutor de políticas públicas en torno a la eficiencia energética, que recibe financiamiento público y privado.

### **CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO**

### 3.1 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

La necesidad de la industria competitiva de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de producción, así como obtener de ello la máxima disponibilidad, ha originado una significativa evolución del mantenimiento industrial en la últimas décadas pasando de métodos puramente estáticos (a la espera de averías) a métodos dinámicos (seguimiento funcional y control multiparamétrico) con la finalidad de predecir las averías en una etapa incipiente e incluso llegar a determinar la causa problema y, por lo tanto, procurar erradicarla.

Todas las definiciones oficiales o no del mantenimiento, tienden a presentar esta función como la encargada de asegurar la disponibilidad de los equipos de producción mediante la ponderación de las imperfecciones del patrimonio tecnológico invertido.

Dicha función debe tener en cuenta los objetivos de la empresa, y se puede llevar a cabo en el marco de un gasto materializado por un presupuesto, o en relación con la determinada actividad industrial. Está sujeta a numerosas obligaciones que la confinan en un modo de funcionamiento que varía de una industria a otra y que depende:

- Disponibilidad financiera del momento.
- Principios de explotación de los equipos industriales.
- Nivel de productividad deseado.
- Cualidades de fiabilidad intrínsecas al material.
- Esperanza de vida de los equipos.
- Cualidades del personal de mantenimiento, etc.

El mantenimiento también responde a expectativas variables. Estas incluyen el hecho de advertir cada vez más el alto grado en el que las fallas en equipos afectan la seguridad y el medioambiente, una conciencia creciente de la conexión entre mantenimiento y calidad del producto, y una presión cada vez mayor de alcanzar un alto rendimiento de las plantas y controlar los costos.

Estos cambios están poniendo a prueba al máximo actitudes y capacidades en todas las ramas de la industria. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar un nuevo modo de pensar y actuar, como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se están haciendo más evidentes, no importa cuán computarizados estén.

Ante la evidencia de esta avalancha de cambios, los jefes de las diversas áreas, están buscando un nuevo método de mantenimiento. Quieren evitar los falsos comienzos y callejones sin salidas que suelen conducir a mayores catástrofes.

## **3.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO**

### **3.2.1 Primera generación**

La primera generación cubre el periodo hasta la segunda guerra mundial. En esa época la industria no era altamente mecanizada, de modo que los tiempos de inactividad no tenían demasiada importancia. Esto significa que la prevención de fallas en equipos no era una prioridad en la mente de la mayoría de los gerentes. Al mismo tiempo la mayoría de los equipos eran simples y muy bien diseñados esto los hacia confiables y fáciles de reparar.

Como consecuencia, no había necesidad de mantenimiento sistemático de ningún tipo, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina. La necesidad de habilidades específicas era inclusive menor de lo que es ahora.

### **3.2.2 Segunda generación**

Todo cambió dramáticamente desde la segunda guerra mundial. Las presiones de la guerra aumentaron la demanda de todo tipo de provisiones, mientras que la disponibilidad de mano de obra disminuyó notablemente. Esto llevo a una mayor mecanización. Para 1950, las maquinarias de todo tipo se habían multiplicado en número y complejidad. La industria estaba comenzando a depender de ellas.

A medida que esta independencia creció, la inactividad tuvo un enfoque más cercano. Esto trajo la idea de que las fallas técnicas podían y debían ser prevenidas, lo que trajo a su vez el concepto de mantenimiento preventivo. En 1960 éste consistía principalmente en el reacondicionamiento de los equipos, que se llevaba a cabo en intervalos fijos.

El costo de mantenimiento comenzó a incrementarse notablemente en comparación con otros costos operativos. Esto llevo al crecimiento de la planificación de mantenimiento y

programas de control. Estos fueron una enorme contribución para comenzar a controlar el mantenimiento, y actualmente forman parte oficial de las prácticas de éste.

Finalmente la cantidad de capital invertido en bienes físicos y los costos crecientes, llevo a que los propietarios buscaran el modo de maximizar la vida de esos bienes.

### 3.2.3 Tercera generación

Desde mediados de 1970, el proceso de cambio en la industria ha conjugado un momento aún mayor. Los cambios pueden clasificarse bajo los títulos de nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

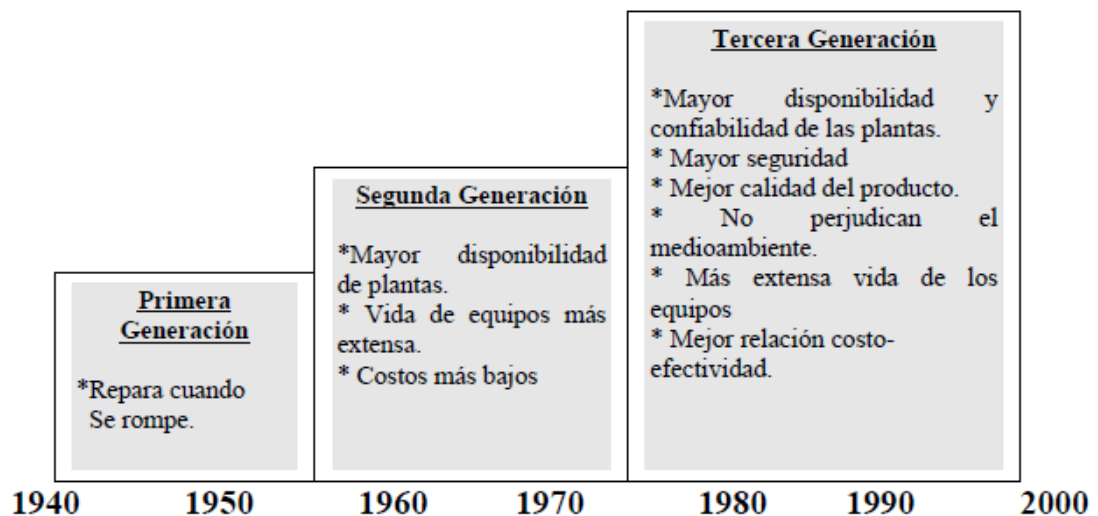


Figura 3-1: Evolución de expectativa del mantenimiento.

(Fuente: Moubray, 1997)

En los últimos años se ha vivido un crecimiento muy importante de nuevos conceptos de mantenimiento y metodologías aplicadas a la gestión del mantenimiento.

Hasta finales de la década de los 90, los desarrollos alcanzados en las 3º generación del mantenimiento incluían:

- Herramientas de ayuda a la decisión, como estudio de riesgo, modos de fallo y análisis de causas de fallo.

- Nuevas técnicas de mantenimiento, como el monitoreo de condición.
- Equipos de diseño, dando mucha relevancia a la fiabilidad y mantenibilidad.
- Un cambio importante en pensamiento de la organización hacia a participación, el trabajo en equipo y la flexibilidad.

A estos usos, se han ido añadiendo nuevas tendencias, técnicas y filosóficas de mantenimiento hasta nuestros días, de tal forma actualmente podemos hablar de una **cuarta generación** del mantenimiento.

El nuevo enfoque se centra en la eliminación de fallo utilizando técnicas proactivas. Ya no basta con eliminar las consecuencias del fallo, sino que se debe encontrar la causa de ese fallo para eliminarlo y evitar así que se repita.

Asimismo, existe una preocupación creciente en la importancia de la mantenibilidad y fiabilidad de los equipos, de manera que resulta clave tomar en cuenta estos valores desde la fase de diseño del proyecto. Otro punto importante es la tendencia a implantar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, de la organización y ejecución del mantenimiento.

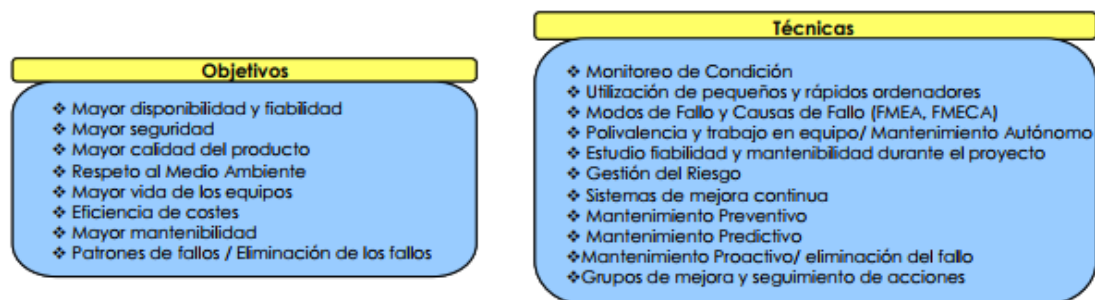


Figura 3-2: Cuarta generación del mantenimiento.

(Fuente: Moubray, 1997)

El mantenimiento en la industria es un concepto considerado primordial para el correcto funcionamiento de cualquier planta en donde sus objetivos principales son la reducción de costos y aumento de la producción y con ello aumentar de las ganancias o ser líder en el mercado, pero cuando el mantenimiento es realizado en otro tipo de instalaciones como lo es un hospital los objetivos principales del mantenimiento tienden a perder su importancia debido a que las instalaciones hospitalarias no consideran primordial el producir una mayor cantidad o reducir los costos de mantenimiento para el beneficio del

hospital, debido en que en esta institución el objetivo no es generar ganancias sino es un establecimiento destinado a proveer prestaciones de salud para la recuperación, rehabilitación y cuidados paliativos de personas enfermas<sup>4</sup>, además un correcto funcionamiento y cumplir con los estándares de seguridad para los operadores debido a que son equipos que trabajan a altas presiones, con fluidos a altas temperaturas y combustibles peligrosos, y para prevenir cualquier tipo de incidente es necesario e importante un correcto mantenimiento que no concierne aumento de ganancia sino de la disposición de equipos en cualquier momento y funcionamiento seguro, por lo cual estos no deben fallar ni detenerse bajo ninguna circunstancia que no sea programada.

### **3.3 LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO EN RECINTOS HOSPITALARIOS**

Según [Instituto nacional de la salud, 1990] el sistema sanitario español como el de cualquier otro país tiene su razón de ser en la salud de sus ciudadanos, mantener y recuperar ésta cuando se pierde ha de realizarse mediante un sistema productivo basado en tres pilares fundamentales: personal, recursos técnicos y tecnología (cultura aplicada). La falta de existencia de cualquiera de las tres haría prácticamente imposible el funcionamiento del sistema.

Cualquier sistema sanitario de un país medianamente desarrollado posee numerosos centros sanitarios (hospitales, ambulatorios, centros de salud y consultorios) siendo su principal activo dentro de los cuales existen diversas instalaciones y equipos electro-médicos complejos y costosos, cuyo correcto funcionamiento condiciona en gran medida la calidad de los servicios prestados por los mismos. El satisfactorio estado de utilización de este tipo de recursos depende fundamentalmente del:

- Adecuado diseño de las instalaciones y equipos.
- Buena ejecución de obra y montaje.
- Eficiente servicio de mantenimiento.

---

<sup>4</sup> Reglamento orgánico de los servicios de salud, Decreto 140

### 3.3.1 Importancia del mantenimiento desde el punto de vista de gestión.

Hemos de indicar, que en el aspecto de gestión económica de la explotación de nuestros centros sanitarios, solamente se contabilizan como gasto del servicio de mantenimiento aquéllos que producen un coste con desembolso monetario y que son exclusivamente los debidos a mantenimiento y conservación de instalaciones y edificios y a reparación de equipos y mobiliario. Pero hay otra serie de costes que se originan y que generalmente no se valoran, tales como, coste de actualización, coste de parada, energía, gastos generales, etc. Es pues función del servicio de mantenimiento del centro sanitario no solamente mantener una serie de equipos concretos en funcionamiento, sino conservar un cierto nivel de infraestructura técnica que impida un envejecimiento prematuro de los mismos lo que supondría una descapitalización y el aumento de los costes que pudiera llevar consigo la puesta en marcha de otros nuevos equipos y edificios. Conservar esta infraestructura supone dedicar recursos a mantenimiento del 5% al 7% del valor inmovilizado del hospital. [Instituto nacional de la salud, 1990]

En Chile la necesidad de inversión sectorial en infraestructura hospitalaria, incluyendo instalaciones y maquinaria, equipamiento para prestaciones GES y no GES, ambulancias, leasing y equipamiento médico. Este gasto ha alcanzado un promedio del 4% del gasto total de Ministerio de Salud (MINSAL) en la última década. [COPSA, 2016]

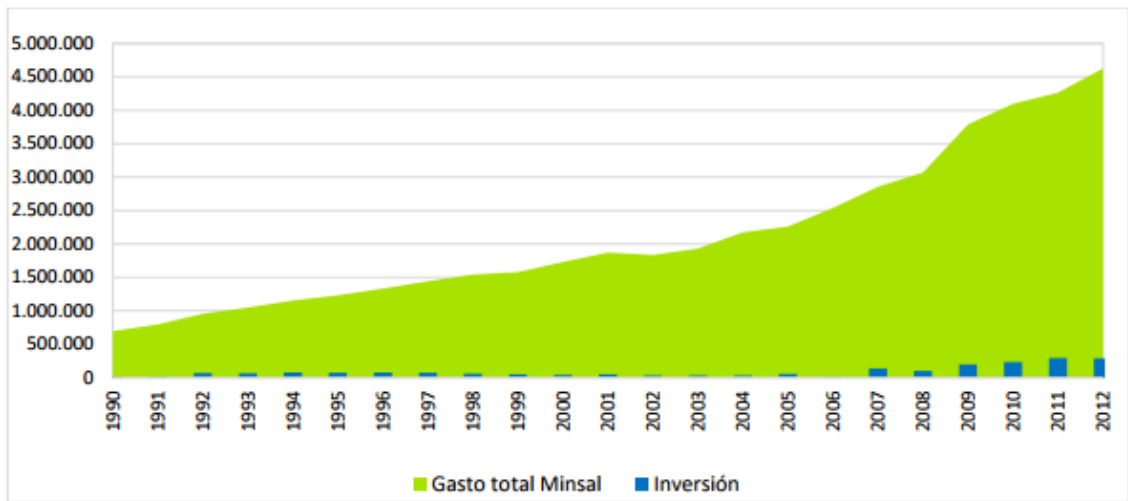


Figura 3-3: Gasto público en salud.

(COPSA, 2016)

### 3.3.2 Importancia desde el punto de vista del paciente

El cliente de un hospital es el paciente. El hospital, por tanto, debe cuidar, en extremo, la satisfacción personal del paciente. La calidad asistencial viene definida como el cumplimiento de los objetivos en el estado de salud resultante de la interacción paciente-sistema, lo cual significa que la calidad no depende sólo de los profesionales de la medicina y/o enfermería, sino que es responsabilidad igualmente del resto de los profesionales que trabajan en las instituciones y organizaciones sanitarias. Es aquí donde el buen funcionamiento y estado del entorno físico que rodea al paciente influye enormemente en el grado de confortabilidad y satisfacción del usuario. Por otra parte, nuestro paciente en muchos de los casos está ingresado en el hospital el cual tiene una sensación de aislamiento, durante su estancia vendrá a utilizar numerosas instalaciones y equipos; el que se encuentren en perfecto estado, con una seguridad integral máxima supone para el paciente un aspecto básico de la calidad asistencial. [Instituto nacional de la salud, 1990]

### **3.4 MANTENIMIENTO EN RECINTOS HOSPITALARIOS**

La función fundamental de los establecimientos de salud para hacer accesibles los servicios a la población del continente, debe ser complementada con la de incorporar a dichos servicios, en medida que sea necesario y dentro de las posibilidades de cada país, los elementos y beneficios del incremento tecnológico moderno. Su planificación, desarrollo, mantenimiento y conservación requieren de una cuidadosa atención.

El papel del mantenimiento consiste en:

- Asegurar la correcta operación e incrementar la confiabilidad de los sistemas básicos de ingeniería, instalaciones y equipos del hospital a través de la realización de actividades de organización, dirección, planeación, ejecución y control.
- Aplicar políticas, métodos y técnicas de conservación, con miras a lograr una disminución en la incidencia de fallas imprevistas, así como incrementar la productividad, confiabilidad, seguridad, eficiencia y eficacia del recurso físico, garantizando las óptimas condiciones de bienestar para el paciente.

“El servicio de mantenimiento del hospital no es un generador de ingresos para la institución; pero un buen manejo técnico-administrativo puede justificar plenamente su

existencia por la garantía de contribuir a proporcionar una adecuada atención al paciente”.  
[González Silva, 1996]

La necesidad de tener un mantenimiento eficiente para un hospital, en donde es necesario tener equipos con un confiabilidad y disponibilidad elocuente a la necesidad de la institución, el desarrollo de un mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos principales instalados en la central térmica de hospital regional de concepción, puede generar las mejores condiciones de funcionamiento de los equipos producto de los objetivos que posee esta metodología.

### **3.5 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD**

Mantenimiento: Asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan.

Mantenimiento Centrado en la garantía de funcionamiento: un proceso usado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo.

La primera industria en enfrentar estos desafíos sistemáticamente fue la industria de aviación comercial. Un elemento crucial de su respuesta fue el darse cuenta de que se debía poner tanto esfuerzo en asegurar que el personal de mantenimiento esté haciendo el trabajo en forma correcta, como en garantizar que se está haciendo el trabajo correcto. Este proceso llevó a su vez al desarrollo del método de toma de decisiones comprensivo, conocido dentro de la aviación como Mantenimiento Centrado en la garantía de Funcionamiento o RCM.( Reliability Centered Maintenance)

En prácticamente cualquier rama del esfuerzo humano organizado, el RCM se está volviendo tan fundamental para la protección de los bienes materiales, como los libros de doble contabilidad lo son para los bienes financieros. No existe ninguna técnica similar para identificar el menor número de actividades específicas y seguras que se deben realizar para preservar el funcionamiento de los bienes físicos, especialmente en situaciones críticas y riesgosas. El reconocimiento cada vez mayor a nivel mundial del rol fundamental del RCM en la formulación de estrategias de manejo de bienes físicos- y de la importancia de aplicarlo correctamente- llevó a la Sociedad Americana de Ingenieros

Automotrices 1999, a publicar SAE Standar JA1011: “Criterios de Evaluación para los procesos de mantenimiento Centrado en la garantía de funcionamiento.”

Si se aplica correctamente, el RCM transforma la relación entre la empresa que lo usa, sus bienes físicos existentes y el personal que opera y mantiene esos bienes. Además, permite que nuevos bienes sean puestos eficientemente en servicio, con gran velocidad, confianza y precisión.

La filosofía del RCM se fundamenta en:

- Evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función.
- Identificación de los componentes críticos.
- Aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.
- Chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante permanente revisión y análisis.

El RCM tiene numerosas ventajas en cuanto al aumento de la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria; a continuación se mencionan las más importantes:

- Crea un espíritu altamente crítico en todo el personal (operaciones o mantenimiento) frente a condiciones de falla y averías.
- Logra importantes reducciones del costo del mantenimiento.
- Optimiza la confiabilidad operacional, maximiza la disponibilidad y/o mejora la mantenibilidad de las plantas y sus activos.
- Integra las tareas de mantenimiento con el contexto operacional.
- Fomenta el trabajo en grupo (convirtiéndolo en algo rutinario).
- Incrementa la seguridad operacional y la protección ambiental.
- Optimiza la aplicación de las actividades de mantenimiento tomando en cuenta la criticidad e importancia de los activos dentro del contexto operacional.
- Establece un sistema eficiente de mantenimiento preventivo.
- Aumenta el conocimiento del personal tanto de operaciones como de mantenimiento con respecto a los procesos operacionales y sus efectos sobre la integridad de las instalaciones.
- Involucra a todo el personal que tiene que ver con el mantenimiento en la organización (desde la alta gerencia hasta los trabajadores de planta).

- Facilita el proceso de normalización a través del establecimiento de procedimientos de trabajo y de registro. (Mora, 2008)

El MCC ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos años. De ello se ha concluido que cuando se aplica correctamente produce los beneficios siguientes:

- a. Una gran ventaja es el modo en que provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir (si hiciera falta) qué tarea sistemática es técnicamente posible en cualquier contexto, y si fuera así para decidir la frecuencia en que se hace y quién debe hacerlo. El MCC también ordena las tareas en un orden descendente de prioridad. Si las tareas no son técnicamente factibles, entonces se debe tomar una acción apropiada.
- b. Mayor seguridad y protección del entorno, debido a:
  - Mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
  - La disposición de nuevos dispositivos de seguridad.
  - La revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional.
  - Claras estrategias para prevenir los modos de fallos que pueden afectar a la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas sistemáticas apropiadas.
  - Menos fallos causados por un mantenimiento innecesario.
- c. Mejores rendimientos operativos, debido a:
  - Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
  - Un diagnóstico más rápido de los fallos mediante la referencia a los modos de fallos relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
  - Menor daño secundario a continuación de los fallos de poca importancia (como resultado de una revisión extensa de los efectos de los fallos).
  - Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completas de ellas.
  - Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fáciles de solucionar y menos costosas.
  - Menos problemas de “desgaste de inicio” después de las interrupciones debido a que se eliminan las revisiones innecesarias.
  - La eliminación de elementos superfluos y como consecuencia los fallos inherentes a ellos.
  - La eliminación de componentes poco fiables.

- Un conocimiento sistemático acerca la planta.
- d. Mayor control de los costos debido a:
- Menor mantenimiento rutinario innecesario.
  - Mejor compra de los servicios de mantenimiento (motivada por el énfasis sobre la consecuencia de los fallos).
  - La prevención o eliminación de los costos, de los fallos
  - Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva.
  - Menor necesidad de usar personal experto porque todo el personal tiene mejor conocimiento de la planta.
  - Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento tal como equipos de monitorización de la condición (condition monitoring).
  - La carga de trabajo resultante es mucho más baja que si el programa es desarrollado con los métodos tradicionales.
  - Una vida útil de los equipos más prolongada debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.
- e. Una amplia base de datos de mantenimiento, que:
- Reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
  - Provee un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional.
  - Provee una base valiosa para la introducción de los sistemas de expertos
  - Conduce a la realización de planos y manuales más exactos.
  - Hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes (tales como nuevos horarios de turno o una nueva tecnología) sin tener que volver a considerar, desde el principio, todas las políticas y programas de mantenimiento.
  - Permiten a quienes utilizan el equipo de mostrar que sus programas de mantenimiento están contruidos sobre una base racional.
  - La información almacenada en las hojas de trabajo de MCC reduce los efectos de la rotación de personal y la pérdida de experiencia que esto provoca, a su vez provee una clara visión de las habilidades necesarias para mantener cada activo físico y para decidir que repuesto deben tener en stock.
  - Un producto secundario valioso es la mejora de planos y manuales.
- f. Una vida útil de los equipos más prolongada debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.

- g. Una amplia base de datos de mantenimiento Esto lleva a un conocimiento general de la planta en su contexto operacional, junto con un “compartimiento” más amplio de los problemas del mantenimiento y de las soluciones tienen mayores probabilidades de éxito. También aumenta la probabilidad de que las soluciones perduren.
- h. 8. Mejor trabajo de equipo: el MCC provee un lenguaje técnico que es fácil de entender para cualquier persona que tenga alguna relación con el mantenimiento. El MCC da resultado rápidamente; de hecho si son enfocadas y aplicadas correctamente, las revisiones de MCC se repagan en cuestión de meses y hasta semanas.

Con la aplicación del MCC se pueden obtener los tres resultados tangibles siguientes:

- Programas de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados para los operadores de los activos.
- Una lista de áreas donde deben ser hechos cambios de una sola vez, tanto en el diseño del activo como en la manera en que es operado, de modo de manejar las situaciones donde los activos no pueden suministrar el estándar de funcionamiento deseado en la configuración actual.

Los beneficios listados anteriormente revelan que sus efectos pueden ser agrupados en cuatro categorías:

- Reducida cantidad de actividades de mantenimiento.
- Sistemas de administración del mantenimiento mejorada.
- Incremento de la productividad.
- Mayor integridad de seguridad y medioambiental.

Al analizar los beneficios tratados se nota que algunos de ellos clasifican en varias de estas categorías.

Según Johnston [2002], los beneficios del MCC pueden usualmente ser catalogados en dos grandes categorías: reducción de riesgos y disminución de costos.

Los beneficios máximos del MCC se pueden alcanzar solamente cuando se tiene acceso a la estadística de fiabilidad de los ítems que son analizados, cuando se considera la optimización de los intervalos de mantenimiento preventivo. La organización tiene que estar preparada para recolectar los datos reales correspondientes a la vida operativa del equipamiento.

En los programas de mantenimiento basados en el MCC por lo general se retroalimentan las acciones y se revisan las bases sobre las cuales se tomaron las decisiones iniciales, y se ajustan las tareas e intervalos basados en la experiencia operacional acumulada. Este accionar es importante para las decisiones iniciales basadas en niveles de información insuficientes. Si el programa de mantenimiento ya existe, el resultado de un análisis de MCC a menudo será eliminar las tareas de mantenimiento preventivo ineficientes. El MCC puede ser utilizado para evaluar los programas de mantenimiento ya existentes.

### **3.6 APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD**

En el año 2011 según [Paredes Vargas, y otros, 2011] se realizó el diseño de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la generación, transporte y distribución de vapor del hospital General Enrique Garcés en la ciudad de Quito.

De acuerdo a los resultados obtenidos se considera que el mantenimiento centrado en la confiabilidad va más allá. Tras el estudio de fallos, no solo se obtuvo un plan de mantenimiento que trata de evitar los fallos potenciales y previsibles, sino además aporta información valiosa para elaborar o modificar el plan de formación, el manual de operación y el manual de mantenimiento.

En cuanto a las instalaciones se considera la importancia de cada componente que constituyen el sistema de generación, transporte y distribución de vapor, se observan disminución en gastos asociados a detenciones imprevistas, además se produce un vapor limpio y se garantiza un aumento en la vida útil de los componentes.

## **CAPÍTULO 4: DISEÑO DE SOLUCIÓN**

### 3.7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad se proponen los siguientes pasos metodológicos:

#### 3.7.1 Descripción del funcionamiento, parámetros de control y tecnología de los equipos

Para lograr desarrollar el programa de mantenimiento basado en confiabilidad, es necesario determinar la condición del equipo, definir su funcionamiento y describir los elementos que los componen, para que con ello, sea más fácil lograr determinar los objetivos propuestos más adelante.

Lo primero para cumplir con este objetivo será utilizar la información entregada por el departamento de desarrollo industrial que es:

- Manuales de los equipos.
- Diagramas del proceso.
- Fichas técnicas.

Lo segundo será buscar información bibliográfica disponible, para lograr dar forma a este primer objetivo, seleccionando la información correcta y necesaria.

#### 3.7.2 Determinación de los modos de fallas del sistema como insumo para el plan de mantenimiento basado en RCM

Para la determinación de los modos de fallo se tomara un extracto la norma SAE JA 1012 sección 8.

- a) Identificar los modos de falla.

“Se deben identificar los modos de falla probables que puedan causar cada falla funcional. Debido a que es imposible definir las causas de una falla hasta que se haya establecido exactamente qué se entiende por “falla”, el proceso MCC identifica las fallas funcionales antes de definir los modos de falla. La figura 4-1 que lista las funciones de un activo, las fallas funcionales y los modos de falla, muestra casi todos los elementos de un Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF).

La figura 4-1 también muestra que la descripción de un modo de falla debe contener al menos un pronombre y un verbo. La descripción debe ser suficientemente detallada de modo que posibilite la selección de una política de manejo de fallas adecuada, pero no tan detallada que tome demasiado tiempo realizar el proceso de análisis.

ACTIVO: Sistema de Bombeo					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)		Modo de Falla (Causa de la Falla)	
1	Transferir agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto.	A	No disponible para transferir ninguna cantidad de agua	1	Cojinete atascado
				2	Motor quemado
				3	Impulsor suelto
				4	Cizallas en el cubo del acople debido a la fatiga
				5	Válvula de entrada atascada en posición cerrada
				6	Impulsor atascado por un objeto extraño.....etc.
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto	1	Impulsor desgastado
				2	Línea de succión parcialmente bloqueada...etc.

Figura 0-1: Ejemplo de modo de fallo de una bomba.

(Fuente: Norma SAE JA 1012)

b) Establecer que se entiende por “probable”.

El método utilizado para decidir que constituye un modo de falla “probable” debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo

La sección menciona que se deben identificar todos los modos de falla probables que pueden causar cada falla funcional. “Probabilidad razonable” significa: una probabilidad que encuentra una prueba de racionalidad, cuando es aplicada por personal conocedor y entrenado. (Un término utilizado en lugar de “razonable” en este contexto es el término “creíble”.) Si las personas entrenadas para utilizar MCC, y quienes conocen el activo en su contexto operacional, acuerdan que la probabilidad a la que un modo de falla específico puede ocurrir es suficientemente alta para que garantice un análisis extenso entonces, el modo de falla debe ser listado.

En la práctica, algunas veces es muy difícil decidir si un modo de falla debe o no ser listado. Este problema está relacionado al mismo tiempo a la probabilidad de ocurrencia y al nivel de detalle utilizado para describir los modos de falla. Muy pocos modos de falla, y/o poco detalle, conducen a un análisis superficial y algunas veces peligroso. Muchos

modos de falla, y/o mucho detalle, causan que el proceso MCC completo tome mucho más tiempo del necesario. En casos extremos, esto puede causar que el proceso tome dos o incluso tres veces más del tiempo necesario (un fenómeno conocido como “parálisis del análisis”), y puede también conducir a programas de mantenimiento excesivamente difíciles.

En situaciones, donde puedan existir dudas o desacuerdos sobre lo que constituye el umbral de “racionalidad”, la decisión final debe ser tomada por la organización que posee o usa el activo, ya que dicha organización tendrá la responsabilidad de las consecuencias si ocurre el modo de falla.

Nótese que la decisión de listar un modo de falla debe ser regulada considerando sus consecuencias. Si es probable que las consecuencias sean de hecho muy severas, posiblemente deben listarse los modos de falla y deben estar sujetos a un análisis más extenso.

c) Niveles de causalidad.

Se deben identificar los modos de falla en un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas apropiada.

Las secciones previas de esta guía declaran que los modos de falla deben ser descritos con suficiente detalle para hacer posible la selección de una política de manejo de fallas apropiada, pero no en tanto detalle que se invierta demasiado tiempo en el proceso de análisis.

d) Fuentes de información.

Las listas de los modos de falla deben incluir los modos de falla que han ocurrido antes, los modos de falla que están siendo prevenidos actualmente debido a la existencia de programas de mantenimiento, y los modos de falla que no han ocurrido aún pero que se piensan probables (creíbles) en el contexto operacional.”

Los modos de falla que han ocurrido antes en los mismos activos o en activos similares, son los candidatos más obvios para ser incluidos en la lista de los modos de falla, a menos que se haya cambiado algo para que ese modo de falla no ocurra de nuevo. Las fuentes de información de estos modos de falla incluyen personas que conocen bien el activo (operadores, mantenedores, vendedores de equipos, u otros usuarios del mismo equipo), registros de historia técnica (memoria técnica) y bancos de datos.

Finalmente, la lista de modos de falla debe incluir los modos de falla que no hayan ocurrido aún pero que se consideren como posibilidades reales en el contexto en consideración. Una característica esencial del mantenimiento proactivo y de la gerencia

del riesgo en particular, es identificar y decidir cómo tratar con los modos de fallas que aún no han ocurrido. Este es también uno de los aspectos más desafiantes del proceso MCC, porque requiere un alto grado de juicio aplicado por personas experimentadas y conocedoras.

e) Tipos de modos de falla.

Las listas de los modos de falla deben incluir cualquier evento o proceso que probablemente pueda causar una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y errores humanos que pueden ser causados por operadores o mantenedores (a menos que el error humano esté siendo activamente dirigido por un proceso analítico aparte del MCC”

El deterioro ocurre cuando la capacidad de un activo está por encima del desempeño deseado para comenzar a operar, pero entonces cae por debajo del desempeño deseado después que el activo entra en servicio. Esto cubre todas las formas de “desgaste o rotura”. Tales como fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación (especialmente de aislantes, lubricantes, etc.) y así sucesivamente. Estos modos de falla deben, por supuesto, ser incluidos en una lista de modos de falla en la que se piensen sean probables.

Muchas fallas funcionales son causadas cuando el esfuerzo aplicado a un activo se incrementa por encima de su habilidad para resistir el esfuerzo. En la práctica estos incrementos del esfuerzo son aplicados frecuentemente por seres humanos. La literatura en esta materia clasifica tales errores humanos en una amplia variedad de maneras. Sin embargo; en el mundo de los activos físicos estos errores usualmente entran en las siguientes categorías:

- Operación incorrecta. Esto usualmente toma dos formas. La primera es sobrecarga sostenida, frecuentemente deliberada.
- Ensamblaje incorrecto (por ejemplo, si un mecánico deja una herramienta en una caja de engranajes o un electricista cablea un interruptor incorrectamente).
- Daño externo (por ejemplo, si la carcasa de una bomba es golpeada por un camión montacargas)

Si tales incrementos en el esfuerzo aplicado se piensan probables en el contexto en consideración (y si ellos no se han tratado por un proceso analítico separado), también se deben incorporar en la lista de los modos de falla, de modo que se puedan identificar las políticas de manejo de fallas adecuadas.

### 3.7.3 Análisis de criticidad de los equipos nuevos de la central térmica en el contexto de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad

Para determinar la criticidad de los equipos de utilizar un extracto de la norma Norsok z – 008 que dispone de los siguientes puntos para la determinación de la criticidad de los equipos.

#### a) Selección del sistema

Seleccionar los sistemas que deberían ser incluidos en el análisis. Criterios de clasificación depende del propósito del análisis y debe estar documentada. Criterios de selección podría basarse en el coste de mantenimiento de los principales contribuyentes a la pérdida de la producción/indisponibilidad y los incidentes relacionados con la seguridad.

#### b) Función principal (MF) definición

Cada sistema de la central debe estar dividido en un número de MFs que abarca todo el sistema. El MFs se caracterizan por ser tareas principales tales como el intercambio de calor, bombeo, separación, generación de energía, comprimiendo, distribución, almacenamiento, etc. que ofrece una visión general de MFs típica para una planta de producción de petróleo y gas.

#### c) Función principal (MF) redundancia

Redundancia de MF debe ser especificado con respecto a la pérdida de acuerdo con la tabla.

El nivel de redundancia dentro de un MF es clasificado por los códigos de la tabla 4-1.

*Tabla 0-1: Clasificación de la redundancia.*

R	Definición del grado de redundancia.
Un	No hay redundancia, es decir, la totalidad de la MF es necesario para evitar cualquier pérdida de la producción.
B	Una unidad paralela puede sufrir un fallo sin influir en la función.
C	Dos o más unidades paralelas pueden sufrir un fallo al mismo tiempo sin afectar la función.

(Fuente: Norma NORSOK-Z 008)

d) Función principal (MF) evaluación de consecuencias

Toda la MF es evaluada en términos de los más graves efectos de un fallo. En esta evaluación la redundancia dentro de la función se ignora, como la redundancia se tratarán por separado.

Los más graves (pero realista) efecto de fallo deberá ser identificado y la influencia sobre el comportamiento de la MF se cuantificarán (si es posible) de acuerdo con la tabla 4-2.

Tabla 0-2: Consecuencia general de la clasificación.

La clase	Salud, seguridad y medio ambiente.	Producción.	Costo (Perdida de la función).
Alta (H)	Potencial de graves lesiones al personal. Presentación de los sistemas críticos de seguridad inoperables. Riegos de incendios en zonas clasificadas.	Parada en la producción/reducción significativa.	Coste considerable -
Media (M)	Potencial de las lesiones que requieran tratamiento médico. Efecto limitado sobre los sistemas de seguridad. No hay riesgo de incendio.	Breve parada de la producción, reducción de la producción.	Coste moderado.
Baja (L)	No hay posibilidad de lesiones. No hay riesgo de incendio o efecto sobre los sistemas de seguridad. No hay posibilidad de contaminación.	Ningún efecto sobre la producción.	Coste insignificante.

(Fuente: Norma NORSOK – Z 008)

e) Definición de sub-función

MFs se dividen en sub-funciones, a fin de simplificar la evaluación de consecuencias y permitir que el trabajo se lleve a cabo con suficiente precisión con el mínimo uso de recursos, la sub-función nivel puede ser "normalizada" para el equipo de proceso típico con términos predefinidos para cubrir todas las necesidades. Estas funciones son las siguientes por ejemplo:

- Alivio de presión.
- Apagado, el proceso.
- Apagado, el equipo.
- Controlar
- Seguimiento
- Indicación local.
- Desconexión manual.
- Contención
- Otras funciones.

f) Redundancia de sub-función

Identificar el nivel de redundancia de cada sub-función.

Si hay redundancia dentro de una sub-función, el número de unidades paralelas y capacidad por unidad será estipulado.

g) Sub-función, evaluación de consecuencias

La consecuencia en el sistema/planta de un fallo en una sub-función es evaluada con respecto a HSE, producción y costo (excluyendo la pérdida de producción) según los mismos principios que se exponen para MF. Si la sub-función pueden sufrir un fallo sin que esto sea evidente para el operador durante el funcionamiento normal, esta condición deberá ser identificado y descrito como un fracaso oculto.

Para funciones críticas de seguridad, los modos de fallo y las tasas de fracaso deben describirse con el suficiente detalle para ser capaz de decidir las actividades de mantenimiento adecuadas a la hora de evaluar las consecuencias de perder la función. Esta información normalmente debe ser parte del concepto de mantenimiento genérica o documentados en el análisis FMEA/RCM.

Para la determinación final de criticidad, se debe asignar un código para cada función o sub-función, en donde se combina la mayor consecuencia y el grado de redundancia, los cuales dependerán de los valores otorgados a cada clasificación de, seguridad, medio ambiente, salud, producción y costos, que serán representados por H, M y L y que tomaran el valor 3, 2 y 1 respectivamente. Para el caso de la redundancia representada por Un, B y C, mantendrán su asignación, a excepción de Un que será una A.

#### 3.7.4 Identificación de las tareas o actividad claves para la elaboración del plan de mantenimiento

Una vez determinados los modos de fallo y la criticidad de los equipos, es necesario determinar las tareas eficientes de mantenimiento preventivo, que evite los modos de fallos identificado para cada equipo y componente.

Las tareas de mantenimiento serán seleccionadas según la información disponible y entregado por el fabricante.

Para lograr seleccionar las tareas que mejor se aplique a cada modo de fallo se utilizara la aplicación del árbol lógico de decisión o diagrama de decisión (ALD), es un proceso sistemático y homogéneo para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para impedir la causa que provoca la aparición de un determinado modo de fallo correspondiente a un componente del sistema objeto del análisis.

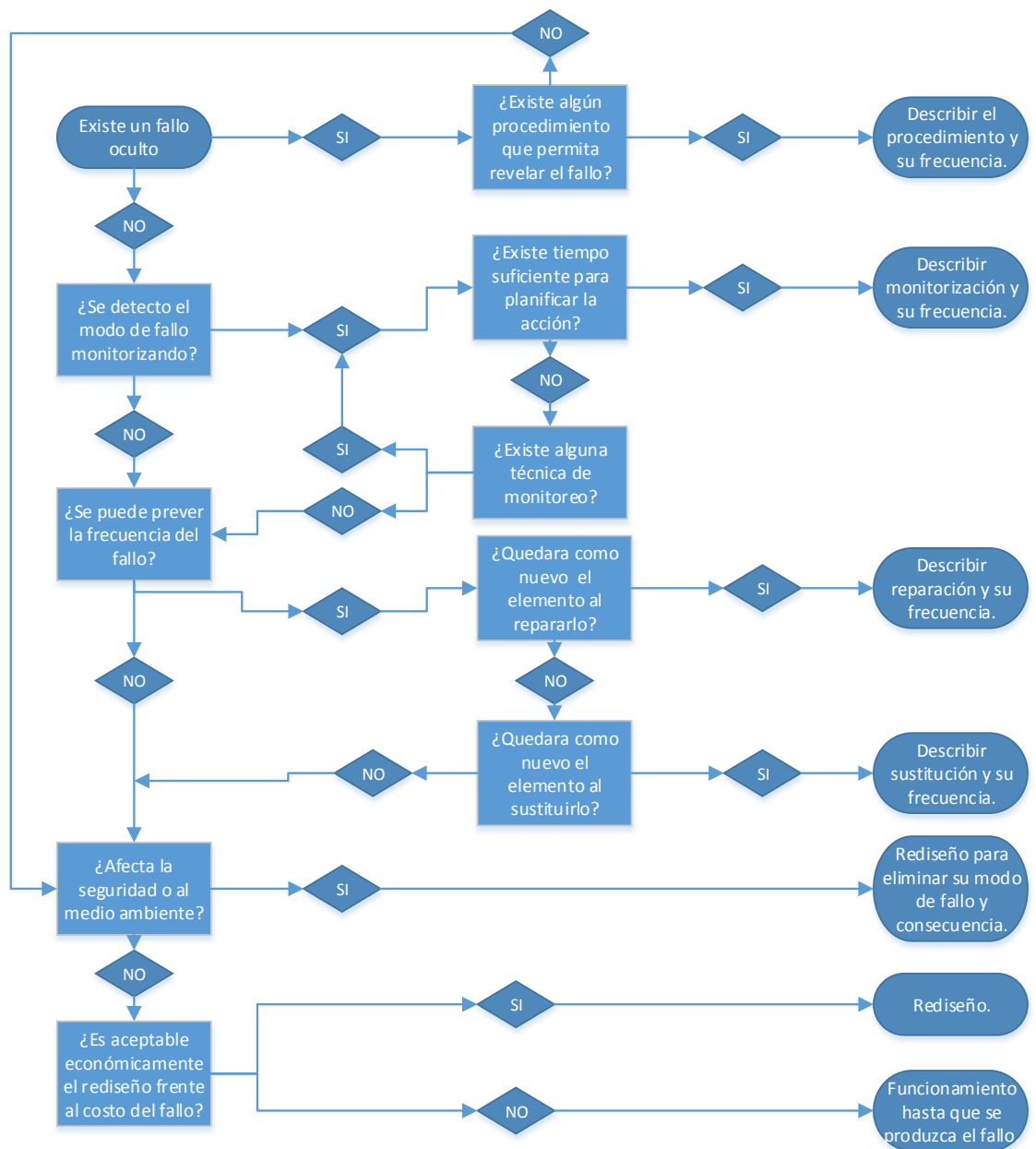


Figura 0-2: Árbol lógico de decisión o diagrama de decisión.

(Fuente: Moubray, 1997)

### 3.8 RESULTADOS

#### 3.8.1 Descripción del funcionamiento, parámetros de control y tecnología de los equipos.

##### 3.8.1.1 Caldera de vapor

Según el decreto supremo N° 10 la caldera instalada en la central térmica del hospital regional del tipo pirotubular modelo DSS-175-100-GOH marca Dueik, se define y clasifica como caldera de mediana presión diseñada para generar vapor de agua, cuya presión manométrica de trabajo es mayor o igual a 3,5 kg/cm<sup>2</sup> e inferior a 15 kg/cm<sup>2</sup>.

Su función principal es proveer 2.300 kg/h de vapor de agua con una presión de trabajo de 6,12 kg/cm<sup>2</sup> a los edificios TPC y MB para ser distribuido en calefacción, esterilización y alimentación. El suministro es necesario las 24 horas del día, los 7 días de la semana dependiendo la demanda de los usuarios.

La caldera dispuesta en la central térmica es del tipo escocesa y consiste en posición horizontal, con tubos múltiples de humo, de hogar interior, de uno o más pasos y que puede quemar combustible líquido o gaseoso. Son, además, económicas, ocupan un mínimo material refractario y su instalación es sencilla.

El vapor producido por las mismas suele tener un título de vapor cercano al calidad 1, es decir, que el contenido de agua por unidad de masa es bajo (3%), no siendo necesario instalar equipos auxiliares complementarios.

*Tabla 0-3: Características técnicas caldera vapor.*

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
Cantidad de quemadores	1

Capacidad (kcal/h)	1.485.873
Flujo de vapor (kgv/h)	2.300
Presión de operación (kg/cm <sup>2</sup> )	6,12
Tipo de combustible	Dual diésel/gas natural
Presión de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	10,55
Diseño	ASME

(Fuente: Catálogo caldera DUEIK)

### **Principio de funcionamiento**

Funciona mediante la transferencia de calor entre la superficie de los tubos y el agua que los rodea, la combustión generada en el hogar es producida por el quemador en donde el combustible utilizado es gas natural, debido a que la caldera es tipo pirotubular los gases de la combustión generados en el hogar ingresan a los tubos y en el momento que el agua tiene contacto con ellos se genera el vapor.

En la caldera se producen los tres mecanismos básicos de transmisión de calor:

- **Conducción:** Se produce por el paso del calor de una pared a otra de la caldera o a los tubos.
- **Convección:** Los tubos de humos se calientan al contacto con los gases de combustión.
- **Radiación:** Se produce un intercambio de calor entre la llama y las paredes de la caldera.

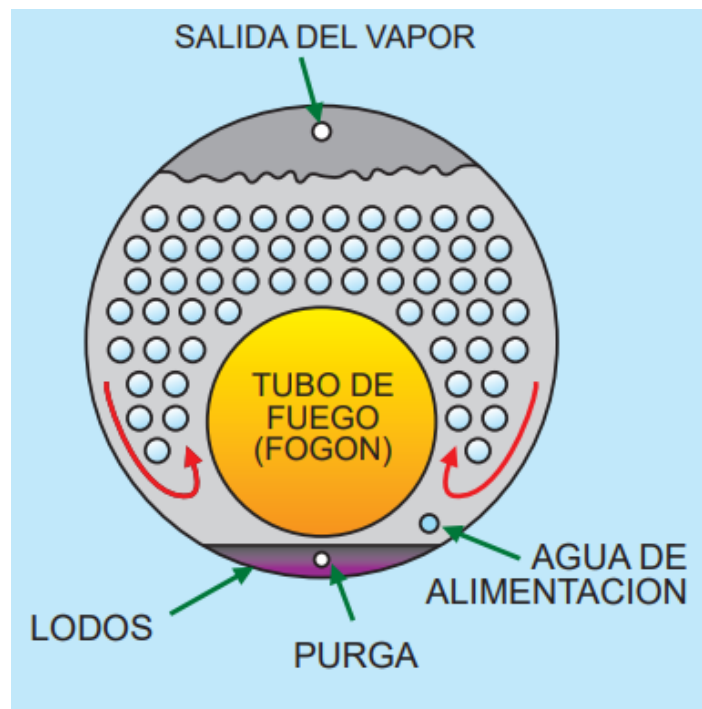
### **Componentes principales de las calderas**

Debido a que cada caldera dispone, dependiendo del tipo, de partes características, es muy difícil atribuir a todas ellas un determinado componente. En razón a lo anterior se

analizarán las partes principales de las calderas en forma general, especificando en cada caso el tipo de caldera que dispone de dicho elemento.

**Hogar o cámara de combustión:**

Es el lugar en el que se produce la combustión del elemento combustible elegido que condicionara su forma y tamaño.



*Figura 0-3: Cuerpo de caldera pirotubular.*

*(Fuente: Descripción de calderas y generadores de calor. ACHS)*

**Envolvente:** Elemento que aísla térmicamente el hogar y el cuerpo del intercambiador.

**Intercambiador:** Es aquella parte en la que se absorbe el calor generado en el proceso de combustión. En esta zona se encuentra el fluido calo portador, normalmente agua.

**Caja de humo:** Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.

**Chimenea:** Es el conducto que recoge los productos derivados de la combustión, gases y humos fundamentalmente y los conduce hacia la zona de expulsión al exterior mediante tramos verticales, en su mayoría, y horizontales o inclinados.

**Regulador de tiro o templador:** Consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma. Tiene por objeto dar mayor o mejor paso a la salida de los gases y humos de la combustión. Este accesorio es accionado por el operador de la caldera para regular la cantidad de aire en la

combustión, al permitir aumentar (al abrir) o disminuir (al cerrar) el caudal. Generalmente, se usa una combinación con la puerta del cenicero.

**Tapas de registro o puertas de inspección:** Son aberturas que permiten inspeccionar, limpiar y reparar la caldera.

Existen dos tipos, dependiendo de su tamaño:

- Las puertas hombre.
- Las tapas de registro.

La puerta hombre por sus dimensiones permite el paso de un hombre al interior de la caldera. Las tapas de registro, por ser de menor tamaño, permiten sólo el paso de un brazo.

**Puertas de explosión:** Son puertas metálicas con contrapeso o resorte, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión. Sólo son utilizables en calderas que trabajen con combustible líquido o gaseoso.

**Cámara de agua:** Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento. Es el comprendido del nivel mínimo visible en el tubo de nivel hacia abajo.

**Cámara de vapor:** Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara. En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada “domo”, y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco).

**Cámara de alimentación de agua:** Es el espacio comprendido entre los niveles máximo y mínimo de agua. Durante el funcionamiento de la cámara, se encuentra ocupada por agua y/o vapor, según sea donde se encuentre el nivel de agua.

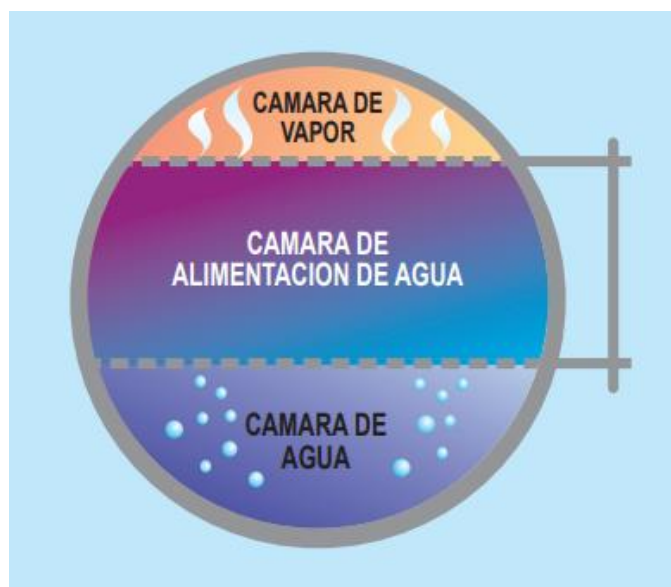


Figura 0-4: Cuerpo interno de la caldera.

(Fuente: Descripción de calderas y generadores de calor. ACHS)

**Quemador:** El quemador es el dispositivo que realiza la mezcla entre el combustible, líquido o gaseoso, y el comburente y que lo inyecta hacia la cámara de combustión donde una vez activada la chispa se produce la combustión. Pueden ser de una marcha, solo tienen una velocidad de inyección, de varias marchas, o modulantes, es decir, que pueden variar de forma continua la velocidad desde cero hasta su máxima potencia.

### **Funciones de accesorios de caldera**

**Manómetro:** Instrumento destinado a medir e indicar la presión efectiva o relativa a la presión atmosférica, que ejerce el fluido al interior de la caldera, con la finalidad de ser observada por el operador.

**Tubo de nivel:** Indica el nivel del agua al interior de la caldera.

**Control de nivel:** Controlan el encendido y apagado de las bombas de alimentación de agua y detiene el quemador cuando el nivel llega a una cota peligrosamente baja según sea indicado en el tubo de nivel y detectado con el sensor de nivel.

**Presostato:** Interrumpe el circuito para detener la operación del quemador cuando a presión excede de ajuste seleccionado.

**Termostato:** Una cada caldera dispondrá, como mínimo, de los siguientes termostatos:

- **Termostatos de funcionamiento:** su misión es detener la marcha de los quemadores cuando se almacenen las temperaturas de consigna, de modo que la producción se adecue a las necesidades instantáneas; son necesarios tantos termostatos como marchas tengan los quemadores para poder aprovechar correctamente los escalones de potencia.
- **Termostato de seguridad:** debe actuar cuando hayan fallado los de funcionamiento, en cuyo caso el quemador no se detiene cuando alcanzan las temperaturas de consigna y continua aportando calor a la caldera, pudiéndose alcanzar temperaturas peligrosas, por este motivo debe ser de rearme manual, de modo que quede constancia del funcionamiento anómalo de la instalación, debiéndose tomar las medidas oportunas para corregir esta disfunción.
- **Termostato de humos:** controla que el conjunto caldera-quemador esté proporcionando los rendimientos mínimos requeridos, ya que si la temperatura de humos se eleva excesivamente, las pérdidas de la chimenea son muy altas, por lo cual debe ser de rearme manual, de manera que exista la obligación de corregir las causas que provocan este problema; además de la función de ahorro de energía asociado al corte por temperatura elevada de humos, también cumple una función de seguridad, ya que si no existiese este control podrían darse casos de temperaturas de humos peligrosas, que pudieran llegar a provocar incendios.

**Válvulas de seguridad:** Su función es evacuar la presión excesiva generada dentro de la caldera siendo la presión máxima de 10,55 kg/cm<sup>2</sup>. Las válvulas de seguridad son la última línea de protección para evitar una sobre-presión.

Las válvulas de seguridad son calculadas para evacuar el total de vapor generado por el equipo a plena potencia.

**Termómetro:** La misión de los mismos es proporcionar datos sobre el estado de funcionamiento de la instalación, cada caldera dispondrá como mínimo de los siguientes termómetros:

- Uno de impulsión y otro en el retorno.
- Uno en el conducto de humos.

**Purgas:** El agua y vapor presente en una caldera está provisto de sedimentos y material particulado que deben ser evacuados para evitar mal formaciones en la estructura y evitar la falsa toma de señales de presión y temperatura de los diferentes elementos de control y de seguridad.

Existen purgas de:

- Columna de agua: Se hace por lo menos cada turno. Si la cámara de McDonnell se queda con lodos, el flotador se queda pegado dando una falsa señal de que la caldera tiene agua.
- Purga de fondo: Para desalojar los lodos de la caldera en la parte inferior. Si hay sedimentación se generan puntos calientes que agrietan y queman las láminas de la caldera.
- Purga continua: Desaloja los lodos que circulan en el agua, las espumas y las grasas. Es continua al mantener la válvula con una proporción de apertura.

### 3.8.1.2 Bombas de calor

Bombas de calor aerotérmica marca MIDEA, modelo RSJ-800, capacidad de calentamiento de agua 80 kW, coeficiente de rendimiento (COP) 4.00 u.

El funcionamiento de la bomba de calor aerotérmica consiste en aumentar la temperatura del agua fría sanitaria proveniente del estanque inercial, en donde se precalienta entre 30 °C y 49 °C, según la energía almacenada en el acumulador.

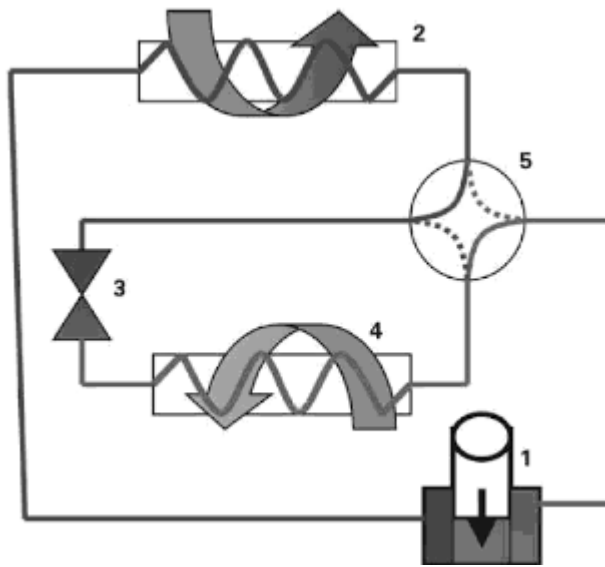
*Tabla 0-4: Ficha técnica bomba de calor.*

Descripción	Especificaciones
Modelo	RSJ-800/SZN1-H
Potencia (kW)	80
Rendimiento (COP)	4
Temperatura de funcionamiento.	-15 °C / 46 °C
Refrigerante	R410A
Fuente de alimentación	380 – 415 V, 50 Hz

(Fuente: Manual MIDEA Bomba de calor.)

### **Principio de funcionamiento**

Una bomba de calor es una maquina termodinámica formada por un circuito frigorífico clásico (compresor, condensador, sistema de expansión, y evaporador) del que se aprovecha la energía calorífica cedida por el condensador (aire caliente o agua caliente que sale por el condensador) y no la que absorbe en el evaporador (fuente fría) del aire ambiente o del agua de un pozo o de un río.



*Figura 0-5: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor.*

(Fuente: Bombas de calor y energías renovables en edificios.)

1. Compresor
2. Evaporador
3. Válvula de expansión
4. Condensador
5. Válvula de cuatro vías

Una bomba de calor no es una “maquina inversa que funciona a la inversa”, es un circuito que funciona de la misma manera que un refrigerador doméstico.

En estos intercambiadores intervienen los calores latentes de evaporación y de condensación del fluido frigorífico utilizado.

En la evaporación se sustrae energía del medio ambiente en forma de calor, que absorbe el fluido frigorífero a temperatura constante pasando del estado líquido al estado gaseoso, teniendo lugar un cambio de estado a presión constante.

En la condensación se libera la energía al medio que se pretende calentar mediante el paso del fluido frigorífero del estado vapor a estado líquido a temperatura constante.

El calor total cedido por el condensador será igual al calor absorbido por el evaporador en el foco frío más el calor resultante de la transformación del trabajo mecánico realizado por el compresor que se transforma en calor.

El interés de la bomba de calor reside en que la cantidad de energía consumida en hacer girar el compresor (normalmente con un motor eléctrico) es en general pequeña en comparación con la cantidad de energía desprendida por el condensador y en consecuencia recibida por el medio que interesa calentar.

### **Componentes de la bomba de calor**

**Compresor:** Es el elemento mecánico más complicado y delicado de la instalación, siendo objeto de inspecciones y verificaciones sistemáticas. Además, el compresor es el único elemento de la máquina que necesita para su funcionamiento consumir energía mecánica.

Este dispositivo permite aumentar la presión del refrigerante en estado gaseoso y normalmente sobrecalentado, procedente del evaporador, hasta una presión que favorece el paso de estado gas a líquido en el condensador, cediendo calor al entorno. Hay que tener en cuenta que no se puede aumentar la presión sin además aumentar la temperatura, aunque el compresor fuera idealmente isentrópico.

Según la clasificación motor-compresor el equipo que conforma la bomba de calor de la central térmica es un compresor del tipo hermético lo cual quiere decir motor y compresor comparten el eje, y se alojan en la misma envolvente con lo que la recuperación del calor generada en el motor mediante el fluido refrigerante es mayor. No es posible su reparación por lo tanto en caso de falla debe ser sustituido.

**Condensador:** Un condensador es un intercambiador de calor en el que el refrigerante que proviene del compresor en estado de vapor sobrecalentado a temperatura elevada, cede calor a un medio que en este caso es agua. Este enfriamiento produce la condensación del fluido frigorífico. La transferencia de calor se favorece mediante el uso de tubos aleteados, o ventiladores si la refrigeración se realiza por aire. El condensador disipa la energía que recoge el evaporador, y además la componente térmica del trabajo del compresor.

Los condensadores más utilizados cuando se dispone de agua de refrigeración son de placas o sin intercambiadores de carcasa y tubos. En este último caso, si el fluido que condensa va por el lado de la carcasa se denomina condensadores inundados, y son los más utilizados en grandes equipos.

La clasificación del condensador según el medio al que ceden la energía calorífica, en este caso, son condensadores enfriados por agua, que son de tubos de cobre con aletas de aluminio que incrementan la transmisión del calor.

**Dispositivo de expansión:** Es el elemento que separa el lado de alta presión del de baja presión su finalidad es doble, regular el flujo de refrigerante hacia el evaporador y reducir la presión del líquido refrigerante de forma isoentálpica.

**Evaporador:** Es el elemento en el que se produce el efecto frigorífico por ebullición del fluido refrigerante procedente del sistema de expansión. Se trata de un intercambiador de calor, en donde el refrigerante que después de la expansión se encuentra como vapor húmedo, absorbe calor del medio, ya sea aire, agua o cualquier otra sustancia, para cambiar de estado hasta que todo él se encuentre como gas. Cuanto mayor sea la fracción líquida del vapor húmedo, mayor será el efecto frigorífico. Si es un compuesto puro o una mezcla isotrópica, cuando se produce el cambio de fase, la temperatura del refrigerante se mantiene prácticamente constante a lo largo de toda la superficie de intercambio.

La capacidad del evaporador aumenta siempre que la diferencia de temperatura entre el medio a enfriar y el refrigerante aumenta, lo que se consigue disminuyendo la presión de evaporación o aumentando la temperatura del medio a enfriar por tanto, cuanto más baja sea la temperatura de evaporación y más alta la temperatura en el fluido mayor será la potencia frigorífica. La capacidad del evaporador aumenta siempre que la diferencia entre la temperatura del evaporador y la del condensador disminuye.

### **Elementos auxiliares**

**Ventilador:** Debido a que la bomba de calor es del tipo aerotérmica lo que quiere decir que se aprovecha la energía calorífica del aire para calentar agua, esta bomba de calor posee dos tipos de ventiladores que son externo e interno, la función del externo es extraer el aire del ambiente para utilizar como emisor de calor a su receptor líquido refrigerante y la función del ventilador interior es desalojar el aire frío que termina de transferir el calor al líquido refrigerante.

**Recipiente de líquido:** Acumula líquido condensador. Tiene dos funciones fundamentales, facilitar el mantenimiento de la bomba de calor y servir como depósito de almacenamiento que actúa como pulmón para alimentar a la válvula de expansión.

**Purgador:** Las bombas de calor contienen una serie de gases no condensables que hay que eliminar. Que haya gases no condensables supone pérdida del efecto de frigorífico ya que el calor específico de un gas es muy bajo. Estos gases están formados por aire debido al incorrecto vacío de la instalación, gases formados por los aceites en su descomposición, y gases formados por el refrigerante debido a la reacción de los refrigerantes halogenados con el agua. El principio de funcionamiento se basa en condensar el refrigerante, dejándolo en estado líquido sub-enfriado, y eliminar los gases no condensables sin para la máquina.

**Filtro deshidratador:** Las funciones de un filtro secador son eliminar la posible humedad existente en el sistema de refrigeración, que se puede deber a una falta de estanqueidad, a la utilización de aceites mal deshidratados, a una utilización de componentes almacenados, y filtrar las impurezas que estén presentes en el circuito, que pueden ser producto de la fabricación de los propios componentes, o escorias debidas a soldaduras aplicadas a las tuberías.

**Separador de líquido:** Tiene dos finalidades: eliminar las gotas de líquido antes de que lleguen al compresor, así solo aspira gas del evaporador y retornar por gravedad al evaporador inundado (en el evaporador solo se introduce líquido).

**Acumulador de líquido:** También denominado acumulador de succión o botella de aspiración. Situado en la línea de baja presión después del evaporador, se suele confundir con el separador de líquido. Su finalidad es evitar el golpe del líquido al compresor pero nunca se usa para alimentar al evaporador. Además dispone de un orificio dosificador para el adecuado retorno de aceite y líquido al compresor.

**Economizador de calor:** Es un intercambiador colocado a la salida del condensador (fluido caliente) y a la salida del evaporador (fluido frío), permite reducir la temperatura del líquido que sale del condensador, sub-enfriándolo, y asegurar que el gas del evaporar se recaliente en la tubería de aspiración, evitando que arrastre gotas de refrigerante, además del golpe de líquido en el compresor. La disposición del economizador aumenta la potencia útil del sistema, por unidad de energía consumida.

**Válvula solenoide:** Dispositivo que mediante la acción de una bobina solenoide regula el paso de refrigerante en los circuitos frigoríficos, contrala la cantidad de refrigerante que va al evaporador.

**Válvula de retención:** Se puede situar tanto en la línea de alta presión como en la de la baja presión. Es un elemento diseñado para dejar pasar el refrigerante en un sentido e impedirlo en el opuesto.

**Válvula de cuatro vías:** Es una parte importante de las bombas de calor reversibles y sirve para regular el flujo de refrigerante desde la descarga del compresor hacia la denominada sección exterior o sección interior que actúa como condensador. Su función es la de invertir el ciclo, ya que invierte el sentido del flujo de calor, pudiendo impulsar calor en cualquier dirección.

La batería interior (dentro del local), que en invierno realizaba la función de condensador cediendo calor al local, cuando se invierte el ciclo en verano realizara la función de evaporador, absorbiendo calor del local. De forma similar ocurre con la batería exterior. Las válvulas de cuatro vías más habituales son del tipo rotacional o de desplazamiento.

**Presostato de alta presión:** Detiene el compresor cuando alcanza una presión de condensación elevada. Estará situado en la zona del condensador.

**Presostato de baja presión:** Detiene el funcionamiento del compresor cuando la presión de aspiración es demasiado baja. Se situara en la zona del evaporador, es decir en la zona de baja presión.

Tanto el presostato de alta como el de baja presión deben tener contacto directo con el refrigerante. Estos presostatos, además de proteger, tienen las funciones de controlar la marcha del sistema y de regularlo.

### 3.8.1.3 Calderas de condensación

Las calderas de condensación instaladas en la central térmica, marca BAXI, poseen una potencia de 320 kW con un rendimiento útil del 109,8 %, una presión máxima de 6,12 kg/cm<sup>2</sup> y el combustible utilizado es gas natural. Estas calderas de condensación están diseñadas según la norma europea de eco-diseño (ERP) la cual establece los criterios mínimos de eficiencia energética.

Estas calderas cumplen la función principal de suplir la calefacción y ACS del sector Monoblock (MB). En la medida que quede potencia disponible, también pueden proveer de agua caliente para los servicios de calefacción y ACS en CAA, su funcionamiento es

variable debido a que se controla a través de la demanda solicitada por los usuarios del hospital.

Tabla 0-5: Características técnicas caldera de condensación.

Descripciones	Especificaciones
Modelo	Power HT 1.320
Potencia kW (Kcal/h)	320 (275.200)
Rendimiento %	109,8
Presión máxima kg/cm <sup>2</sup>	6,12
Tipo de combustible	Gas natural
Presión gas mbar	min. 18, máx. 25

(Fuente catálogo BAXI)

### **Principio de funcionamiento**

Las calderas de condensación, tecnología perfectamente desarrollada e implantada en el sector de la calefacción, son calderas de alto rendimiento basadas en el aprovechamiento del calor latente de condensación presente en los humos de la combustión.

Formalmente, según la definición de la Directiva de rendimientos, una caldera se considera de condensación cuando está diseñada para poder condensar de forma permanente una parte importante de los vapores de agua contenidos en los gases de la combustión.

Con una caldera que no sea de tecnología de condensación, una parte no despreciable del calor latente es evacuada por los humos, lo que implica una temperatura muy elevada de los productos de combustión que puede alcanzar los 120°C. La utilización de una caldera de condensación permite recuperar una parte muy grande de ese calor latente y esta

recuperación de la energía reduce considerablemente la temperatura de los gases de combustión bajándolos hasta valores del orden del 45°C o inferiores, limitando así las emisiones de gases contaminantes.

La caldera de condensación debe su denominación al hecho de que para producir el calor, utiliza no sólo el poder calorífico inferior <sup>5</sup>PCI de un combustible sino también su poder calorífico superior <sup>6</sup>PCS. Hasta la entrada de la Directiva de Eco-diseño, para todos los cálculos de rendimiento de calderas, las normas europeas y española han utilizado como referencia el PCI. Utilizando el PCI para definir el rendimiento de una caldera de gas de condensación, conseguimos rendimientos superiores al 100% gracias a la recuperación del calor latente que representa aproximadamente el 11 %. Ya se ha comentado, que desde la entrada de la Directiva ERP el criterio de definición de rendimientos ha cambiado, empleando como referencia para el cálculo el PCS (incluyendo ya el calor latente disponible por el cambio de fase al producirse la condensación del vapor de agua contenido en los humos de la combustión).

Con gas natural, la parte de calor por condensación (calor latente) es del orden del 11 % en relación al PCI. Este valor no puede aprovecharse en calderas que no sean de condensación. La caldera de gas por condensación permite la utilización continua de este potencial de calor, gracias a la condensación del vapor de agua presente en los humos.

La disminución importante de la temperatura de funcionamiento en las calderas de condensación a gas (temperaturas que pueden descender hasta los 30°C) permite la utilización de la parte de calor sensible que se pierde por los humos de la combustión, reduciendo de manera significativa las pérdidas relacionadas por este aspecto en el proceso de la combustión.

### **Componentes de una caldera de condensación**

**Evacuación de humos:** Una vez extinguida la llama, los gases producto de la combustión continúan su camino hacia la chimenea a través del circuito de humos. Estos circuitos suelen incluir elementos (retardadores) o geometrías especiales, con el fin de prolongar el

---

<sup>5</sup> Indica la cantidad de calor que se puede producir con una cierta cantidad de combustible (sólido, líquido o gaseoso). Con este valor de referencia los productos de combustión están disponibles en estado gaseoso.

<sup>6</sup> Contiene, en comparación con el poder calorífico inferior, un porcentaje de energía añadido en forma de calor por condensación del vapor de agua, el llamado "calor latente"

paso de los humos en la caldera y mejorar el coeficiente de transmisión de calor humos-fluido, obteniéndose temperaturas de humos más bajas y rendimientos más altos.

**Control y regulación LMS:** Control y supervisión del quemador con electrodo de ionización, arranque automático programado con control de encendido de llama.

**Electrodo de encendido:** Acciona el encendido del quemador y debe penetrar ligeramente el borde de la llama, para no influir en la corriente de ionización.

**Electrodo de ionización:** Es un detector de llama que tiene su principal aplicación en los quemadores mecánicos y también en calderas con quemadores atmosféricos sin llama piloto. Cuando se produzca la llama, debido a los electrones libres que se generan dentro de la misma, rectifica la corriente eléctrica que envía a la placa electrónica, informándola de existencia de llama.

**Quemador:** Pone en contacto el combustible y el comburente en cantidades y condiciones adecuadas para generar la combustión posee una unidad de pre-mezcla, en donde el aire de combustión se combina con el gas procedente de la válvula para asegurar una relación aire/gas óptima constantemente.

- **Ventilador:** Envía el aire como comburente al cajón en el que está alojado el quemador.
- **Tubo Venturi:** Medio por el cual se aporta el gas natural hacia el quemador.
- **Válvula de gas:** Se abre o se cierra según la necesidad de gas natural para la combustión, se activa o desactiva a través de la temperatura o presión presente en la zona de combustión.

**Intercambiador de calor:** Intercambiador de Aluminio-Silicio de alta eficiencia especialmente. Diseñado para este tipo de caldera. El contenido de agua relativamente bajo dentro del intercambiador reduce la inercia del calor permitiendo así respuestas extremadamente rápidas a las frecuentes variaciones de calor típicas de los sistemas centralizados modernos.

Zona donde se transfiere el calor del vapor de agua proveniente de los gases de combustión, hacia el agua para calefacción o agua sanitaria.

**Sifón:** Evita la salida de humos.

**Purga:** Elimina el condensado que se produce por la transferencia de calor entre el vapor de agua de combustión y el agua de calefacción o agua sanitaria. También elimina el exceso de aire de la combustión. Esa eliminación de fluidos es para evitar la indicación de presión errónea en el sistema.

**Válvula de seguridad:** Se abre en condiciones de peligro y libera la presión en caso de que el presostato indique que la presión del agua excede la máxima de 6,12 kg/cm<sup>2</sup>.

**Válvula anti retorno:** Tienen por objetivo cerrar por completo el paso del gas en circulación en un sentido y dejar paso libre en el contrario.

**Bomba re-circuladora:** Bombear el agua caliente sanitaria producida en la caldera hacia el manifold de distribución.

**Termostato:** Es un elemento de seguridad cuya misión es controlar la temperatura del agua en la zona próxima al intercambiador principal de la caldera. Si la temperatura del intercambiador supera el valor ajustado en el termostato, éste abre sus contactos y produce, a través de la placa de control electrónica, el cierre de la válvula de gas.

**Presostato:** Interrumpe o acciona el circuito del quemador dependiendo de la presión indicada del gas o del aire de la combustión.

### 3.8.2 Determinación modos de fallos de equipos principales

#### 3.8.2.1 Equipos principales

Producto a que los equipos principales deben cumplir en todo momento con su función, ya que se encuentran en un hospital en donde el servicio que cumplen debe mantener el confort de los usuarios del centro de salud, es de suma importancia la determinación de los modos de fallos ya que son de gran ayuda para tomar decisiones y consideraciones respecto a las diferentes tareas de mantenimiento que son necesarias para mantener en funcionamiento óptimo, a la caldera de vapor, bombas de calor y calderas de condensación.

A continuación se realiza la aplicación de la norma SAE JA 1012 para la determinación de los modos de fallos de los equipos principales.

Antes de todo es necesario considerar que se entiende por modo de fallo, según la norma SAE JA 1012 se define como, “un evento único que causa una falla funcional”. Teniendo en cuenta lo anterior es necesario seguir la metodología paso a paso:

- a. Identificación de los modos de fallos.

Según la norma SAE JA 1012 para la identificación de los modos de fallo lo principal es determinar que se entiende por falla, se define como, “un estado en el que el activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado”.

Por lo tanto conociendo las funciones de los equipos, es necesario determinar si el activo perdió totalmente o parcialmente su función para que con ello poder identificar los modos de fallos.

En la siguiente tabla se tomó por ejemplo un componente de la caldera de vapor en donde se determina la pérdida de su función para poder determinar el o los probables modos de fallo (Revisar anexo A). En el ejemplo y tal como lo dice la norma la función debe estar definida con un pronombre y verbo que delimite en lo posible la función para poder hacer más fácil la determinación de los modos de fallos.

Tabla 0-6: Modos de fallo de intercambiador de calor de caldera vapor.

	Componente caldera de vapor	Función		Falla funcional (Perdida de la función)
3	Tubo de fuego. (Intercambiador de calor)	Transferir el calor generado en el proceso de combustión al agua que lo rodea.	A	Baja o nula tasa de transferencia de calor.

(Fuente: Elaboración propia)

b. Definir lo que es probable.

Según la RAE la definición de probable es “algo verosímil, o que se funda en razón prudente, que se puede probar, que hay buenas razones para creer que se verificara o sucederá”.

Por lo tanto la identificación de un modo de fallo debe tener prueba de que ocurrió o pueda ocurrir, para poder respaldar y dar sustento a la identificación de los diferentes modos de fallos.

Ahora bien la determinación de los modos de fallo en equipos nuevos es un poco más complejo que en equipos antiguos, ya que en estos se mantiene un registro de las diferentes modos de fallo en que ha fallado el equipo, por lo tanto, para lograr identificar correctamente los modos de fallos de los equipos nuevos se hará uso de los manuales, programas de mantenimiento y consideración de fallos en equipos similares, para lograr encontrar los modos de fallos correspondiente para cada perdida de la función de los equipos principales.

Tomando el mismo ejemplo anterior en tabla 4-7 se determinan los modos de fallos que causan la falla funcional, se puede ver que para una falla funcional existen diferentes probables modos de fallos que nos entregan mayor información para tener en consideración en el momento de realizar el mantenimiento en cada equipo o componente, en este caso el intercambiador de calor de la caldera de vapor.

Tabla 0-7: Modos de fallos de intercambiador de calor de caldera vapor.

Componente de caldera de vapor	Función		Falla funcional (Pérdida de la función)	Modos de fallo (Causa de la falla)
Tubo de fuego. (Intercambiador de calor)	Transferir el calor generado en el proceso de combustión al agua que lo rodea.	A	Baja o nula tasa de transferencia de calor.	Trabajo de limpieza inadecuada y a destiempo. Mala combustión. Atomización inadecuada del combustible. Corrosión. Fatiga térmica. Incrustaciones de partículas en el tubo de fuego.

(Fuente: Elaboración propia)

c. Niveles de causalidad.

Teniendo en cuenta los modos de fallos, es necesario determinar por qué ocurren y como poder solucionarlos. Para ello se considera el nivel de causalidad la cual su determinación suele ser un poco engorroso, debido a que existen múltiples razones por lo que un modo de fallo puede ocurrir, por lo tanto, es necesario tener cuidado al momento de determinar el nivel.

De aquí nace el concepto causa raíz que implica que se puede llegar hasta el final y a un nivel de causalidad absoluto, si se profundiza lo suficiente de hecho, no es solo muy difícil de hacer, sino que también es comúnmente innecesario.

Por lo tanto no se considera necesario profundizar en la determinación de los niveles de causalidad.

d. Fuente de información.

Como se mencionó anteriormente la identificación de los modos de fallos se pueden determinar posiblemente con datos de fallas ya ocurridas con anterioridad, pero en el caso de equipos nuevo la fuente de información será a través de los manuales de cada equipos, considerar equipos similares y planes de mantenimientos aplicados a los equipos.

e. Tipos de modos de fallos.

Los diferentes modos de fallos que se han determinado poseen distintas ocurrencias la cuales pueden ser error humano, defecto en el diseño, incluso deterioro, por lo tanto para la selección de los modos de fallos se toma en consideración todos los parámetro aquí expuesto, todo ello para determinar las actividades de mantenimiento correctas y necesarias para cada equipo, para que con ello, realizar tareas precisas sin perder tiempo o dinero en actividades innecesarias. (Revisar anexo A, B y C)

3.8.3 Análisis de criticidad de los equipos nuevos de la central térmica en un contexto de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

a. Selección del sistema:

La selección y priorización de los equipos o sistemas a analizar serán los que mayor beneficio obtendrán de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

La selección del sistema de generación de vapor y generación de agua caliente sanitaria se considera necesaria por ser un sistema nuevo, en donde no se conoce su comportamiento y reacción a la hora de presentar una falla, además son los equipos de mayor costo incluidos en el proyecto de eficiencia energética en edificios públicos y que mayor ahorro generaran al hospital en términos de consumo de combustible, energía eléctrica y eficiencia de cada equipo, según se ha mencionado en capítulos anteriores.

b. Función principal (MF):

Los sistema generadores de agua caliente y vapor para el hospital regional, se encuentran constituidos por una variedad de equipos para cumplir con el servicio, por lo tanto como indica la norma es necesario separar el sistema por funciones principales para lograr la determinación de los equipos críticos dentro del sistema.

**Sistema generador de vapor:**

Cada función principal es separada en donde comienza una y termina la otra. A continuación se puede ver en la figura 4-6 la separación de cada función principal.

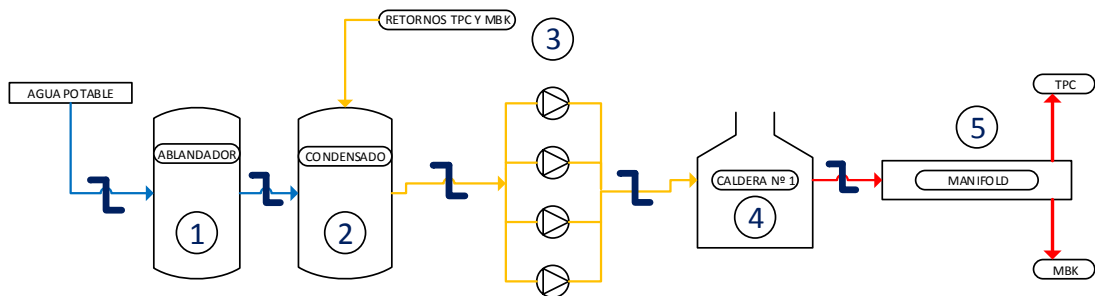


Figura 0-6: Esquema de separación de funciones principales de generación de vapor.

(Fuente: Elaboración propia)

- Ablandar agua (1).
- Acumular agua (2).
- Bombear agua (3).
- Producir vapor (4).
- Distribuir vapor (5).

#### **Sistema generado de agua caliente:**

Al igual que la figura anterior en la figura 4-6 se esquematiza la división de las funciones principales de los equipos que conforman el sistema generador de agua caliente.

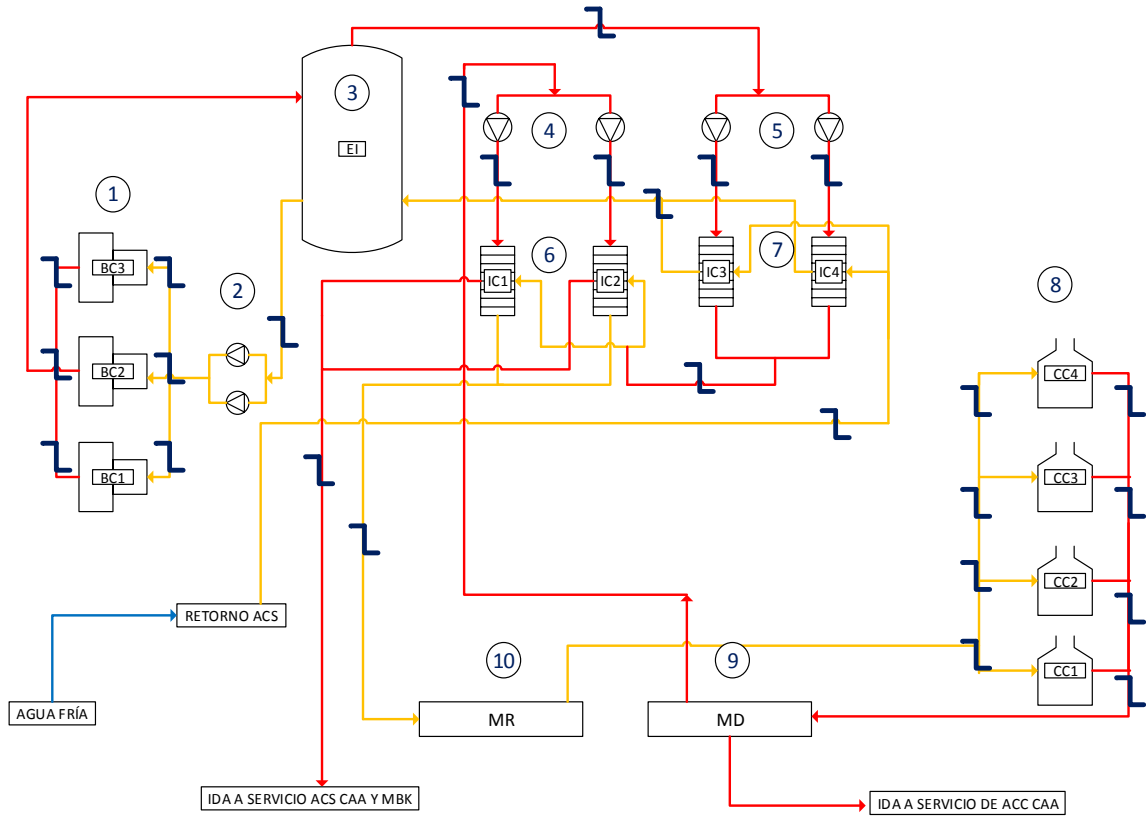


Figura 0-7: Esquema de separación de funciones principales de generación de ACS y ACC.

(Fuente: Elaboración propia)

- Producir agua caliente sanitaria (1).
- Bombear agua (2).
- Almacenar agua (3).
- Bombear agua (4-5).
- Intercambio de calor (6-7).
- Producir agua caliente para calefacción (8).
- Distribución de agua para calefacción (9).
- Distribución de agua de retorno (10)

Todas estas funciones principales intervienen en la producción de agua caliente.

c. Función principal redundancia.

La redundancia se determina según la función de cada equipo y se representa según los códigos de la tabla 4-1, y debe determinar si la función principal es necesaria para evitar cualquier pérdida de producción.

#### **Generación de vapor:**

Según la tabla 4-1 se realizó la clasificación de la redundancia de los equipos, y se determinó que la función de mayor redundancia es bombear el agua (3) ya que más de dos unidades pueden fallar y no detendrá la producción ya que las bombas trabajan de una a la vez, en cambio las demás funciones no poseen redundancia por lo tanto la totalidad de su función es necesaria para continuar con la producción. (Revisar anexo D)

#### **Generación de agua caliente sanitaria:**

Al igual que en la anterior según la tabla 4-1, se clasificaron según la redundancia y se determinó que la función principal bombear agua (2) y calentar agua (1-8) son de redundancia media ya que una unidad paralela puede fallar sin influir en la producción y las demás funciones no poseen redundancia ya que la totalidad de su función es necesaria para continuar con la producción necesaria. (Revisar anexo E)

#### **d. Evaluación de la consecuencia, función principal:**

Evaluar la consecuencia de cada función permite identificar que sucede cuando se pierde cada función y determinar qué tan crítico es el equipo. La clasificación de cada consecuencia viene determinada según la tabla 4-2.

#### **Generación de vapor:**

La determinación de la consecuencia se determina a través de la repercusión que una pérdida de la función pueda tener tanto en el medio ambiente, la salud, la seguridad, la producción y los costos por la pérdida de la producción, en este caso solo se considerara los parámetros de medio ambiente, seguridad y salud, debido a que son equipos nuevos y no existe registro de detención de producción ni costos producto de la detención.

Según el análisis se determinó que las funciones de menor consecuencia es Bombear agua (3) ya que si se pierde su función no hay peligro de daño a la salud, medio ambiente o seguridad ya que bombea agua de una temperatura de 15 °C, no es una sustancia peligrosa. Las funciones de consecuencia media son ablandar agua (1), acumular agua (2) y distribuir vapor (5) ya que son funciones que al perderlas no producen daños a la salud, peligro en la seguridad o el medio ambiente. Por último la consecuencia mal alta es la perdida de la función de producir vapor ya que existe peligro de la salud, riesgo de incendio y en la seguridad, ya que trabaja a presiones elevadas mayor a 5 kg/cm<sup>2</sup> y utiliza combustible peligroso. (Revisar anexo D)

### **Generación de agua caliente:**

El análisis de la generación de agua caliente determino que la menor consecuencia de la pérdida de la función es bombear agua (2) ya no existe peligro de la salud, seguridad o medio ambiente debido a que bombea agua a baja temperatura, la consecuencia media es de las funciones de almacenar agua (3), bombear agua (4-5), intercambiar calor (6-7), distribuir agua (9-10), ya que no hay riesgo en seguridad, salud o medio ambiente, y por último las funciones de consecuencia más altas son generar agua caliente sanitaria y para calefacción (1-8), ya que debido a su función la producción de líquido a altas temperatura y utiliza combustibles que pueden producir peligro a la salud y riesgo de incendio. (Revisar anexo E)

#### e. Definición de sub-función:

Un sistema se compone de equipos para lograr a cumplir con la producción de vapor o agua caliente, al igual los equipos se dividen en sub-funciones para poder cumplir con la función principal.

La definición de la sub-función será de suma importancia para lograr simplificar la evaluación de la consecuencia para que con ello la determinación de las tareas de mantenimiento sea la correcta y las más necesarias según la condición de cada equipo que se ha determinado como crítico.

Equipo críticos: caldera de vapor, bomba de calor y caldera de condensación.

Sub-funciones de caldera de vapor:

- Generar combustión.
- Contener fluidos.
- Intercambiar calor.
- Desalojar gases de la combustión.
- Indicadores.
- Controlar.
- Inspeccionar.

Sub-funciones bomba de calor:

- Aumentar presión.
- Regular flujo de refrigerante.
- Extraer y desalojar aire.

- Regular flujo de agua.
- Intercambiar calor.
- Filtrar.
- Controlar.
- Purgar.

Sub-funciones de caldera de condensación:

- Desalojar gases de la combustión.
- Regular y controlar encendido del quemador.
- Generar la combustión.
- Regular flujo de gas.
- Intercambiar calor.
- Aliviar presión.
- Bombear agua.
- Purgar.

Cada sub-función está definida en el (anexo E).

f. Redundancia de la sub-función:

La determinación de la redundancia de la sub-función al igual que en el punto (c) es para determinar si la totalidad de la sub-función es necesaria para mantener la producción y se usan de igual manera los códigos de la tabla 4-1.

Para los 3 equipos críticos las sub-funciones son necesarias complemente, no existe redundancia por lo tanto la perdida de una sub-función en la caldera de vapor, bomba de calor y caldera de condensación, generará la perdida de la producción de los diferentes servicio. (Revisar anexo D y E)

g. Sub-funciones, evaluación de las consecuencias:

Al igual que el punto (d) la determinación de las consecuencias tiene relación con la seguridad, salud y medio ambiente. Debido a que una función principal se divide en sub-funciones, es más fácil poder evaluar las consecuencias.

La realización del análisis ayuda a decidir las actividades de mantenimiento necesarias para cada equipo, es necesario y más fácil realizar la evaluación a partir del análisis de modos de fallos realizado en el objetivo anterior. (Revisar anexos A, B y C)

**Caldera de vapor:**

Realizada la evaluación de la consecuencia se determina que, baja consecuencia de las sub-funciones es, inspeccionar; media las sub-funciones, desalojar gases e indicar, ya que su pérdida puede producir daños en la salud; y se clasifican en altas las sub-funciones, generar combustión, contener fluidos, intercambiar calor y controlar, estos se clasifican en clase alta ya que la pérdida de ellos puede provocar lesiones y peligros de incendios. (Revisar Anexo D)

**Bomba de calor:**

En general la bomba de calor no posee sub-funciones con consecuencia en la salud, seguridad y medio ambiente. (Revisar anexo E)

**Caldera de condensación:**

La evaluación de las consecuencias de las pérdidas de la sub-función de la caldera de condensación determino consecuencias de clase media y alta, siendo de media la sub-función, desalojar gases, bombear y purgar, ya que su pérdida produce un potencial de lesiones, sin riesgo de incendios, y clasificación alta, las sub-función, controlar y regular encendido, generar combustión, regular flujo de gas, intercambiar calor y aliviar presión, la pérdida de la función de cualquiera de la sub-funciones mencionadas provocará, riesgo para la salud ya que se estará trabando con liquido sobre 50 °C y probabilidad de riesgo de incendio debido a la combustión presente de gas natural. (Revisar anexo E)

#### 3.8.4 Identificación de las tareas o actividades claves para la elaboración del plan de mantenimiento

Para la identificación de las tareas se llevara a cabo a través de la metodología mencionada anteriormente con el diagrama de decisiones o el árbol de decisiones.

Las labores de mantenimiento son tareas seleccionadas a través de los manuales de fabricante de cada equipo, estas tareas poseen periodicidades, diarias, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales.

##### **Selección de tareas de la caldera de vapor.**

A modo de ejemplo se determinara las tareas necesarias para el cuerpo de la caldera, la cual presenta fallas funcionales como fugas, baja transferencia de calor, desgaste de los elementos, todo esto debido a una mal limpieza, corrosión, incrustaciones en las paredes, montaje inadecuado y fatiga térmica.

Ahora bien es necesario responder las preguntas del árbol de decisiones.

- ¿Existe un fallo oculto?

No, los fallos están considerados por el fabricante.

- ¿Se detectó el modo de fallo monitorizando?

Si, se realizan labores de monitoreo contantemente por los operadores.

- ¿Existe tiempo suficiente para planificar la acción?

Si.

- Describir su monitorización y frecuencia.

Tarea determinada:

Se verificara el nivel del agua de la caldera con una periodicidad diaria.

Verificar estanqueidad del cuerpo de la caldera, mensualmente.

Realizar limpieza e inspección del fondo húmedo de la caldera, incluidos todos los controles de nivel y fitting, y retirar el hollín de la caja de giro estas tareas se debe realizar mensualmente.

Debido a que los elementos se deterioran con el paso del tiempo es necesario determinar el remplazado de estas.

Al igual que condición anterior se responden las preguntas del árbol de decisiones.

- ¿Existe un fallo oculto?

No, los fallos están considerados por el fabricante.

- ¿Se detectó el modo de fallo monitorizando?

No.

- ¿Se puede prever la frecuencia del fallo?

Si, por indicación del fabricante.

- ¿Quedara como nuevo el elemento al repararlo?

No, son elemento de sacrificio por lo tanto no es necesario reparar.

- ¿Quedara como nuevo el elemento al sustituirlo?

Si, se recupera la pérdida de la función.

- Describir sustitución y su frecuencia.

Tarea seleccionada:

Reemplazar empaquetaduras del fondo húmedo, del hogar de la caldera y cambiar refractario anualmente.

Las diferentes actividades de mantenimiento que se determinaron para cada equipo pueden ser revisadas en los anexos F, G y H.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### 4.1 CONCLUSIONES

Realizada la descripción y estudio de cada equipo se observó que debido al propósito de la instalación estos son altamente eficientes, siendo las bombas de calor el equipo más eficiente con un 400 % de eficiencia, lo que quiere decir que por 1 kW de consumo esta produce 4 kW de energía térmica, seguido por las calderas de condensación que poseen un 109,8 % de eficiencia, ya que hacen uso del poder calorífico superior del vapor de agua producido durante la combustión, y es mayormente aprovechado para la transferencia de calor y además se reduce la temperatura de los gases de salida hacia el medio ambiente.

Por otro lado el cambio de caldera de vapor redujo la producción de vapor en un 57 % que fue reemplazado por la producción de agua caliente de las bombas de calor y calderas de condensación y con ello se redujo el consumo de combustible para producir vapor y se eliminó el uso de carbón.

Actualmente los equipos están en periodo de evaluación y mediciones para comprobar si cumplen con los parámetros determinados de eficiencia energética, además poseen un año de garantía en donde la empresa implementadora del proyecto es la encargada del realizar las actividades de mantenimiento correctivo.

La determinación de los modos de fallos arroja que la mayoría de los modos de fallos en los equipos son producto del mal montaje y calibración de los elementos, seguido por la aparición de incrustaciones o sedimentos, esto luego de realizar una clasificación de los modos dividiéndolos en fallas eléctricas, fatiga de material, suciedad, pérdida de estanqueidad, y los dos parámetros antes señalados.

En el caso de caldera de vapor un 21,3 % de los fallos determinados corresponden a mal montaje y calibración, y las incrustaciones corresponden al 12,8 %. Las calderas de condensación con un 18,2 % de mal montaje y calibración, y 13,63 % de incrustaciones. Y por último las bombas de calor en un 29,16 % de fallos de mal montaje y calibración, y 16,6 % de incrustaciones y sedimentos.

Realizado el análisis de criticidad se logró determinar la criticidad relacionada a medio ambiente, salud y seguridad, siendo la caldera de vapor y la caldera de condensación con el valor más alto de criticidad y las bombas de calor con nivel medio, valores obtenidos de acuerdo el análisis realizado.

La realización de la criticidad con parámetros de pérdida de producción y costos de la pérdida de producción no se logró realizar debido a que no existía el registro de los datos

de tiempos de detención y costos ya que son equipos nuevos y aún no se presentan detenciones imprevistas.

Y por último luego de determinar la actividades de mantenimiento se comparan con el plan entregado por la empresa y se observa que las tareas de mantenimiento con el desarrollo del análisis basado en MCC son descritas de manera más detallada y según requiera cada componente de los equipos, con el fin de que sean aplicadas de mejor manera, minuciosamente y evitar los modos de fallos determinados, para cumplir con equipos eficientes y disponibles cuando corresponda.

Además se observa que realizada la homologación del plan de mantenimiento a uno con enfoque de mantenimiento centrado en la confiabilidad es posible, cumple con el objetivo de mantener el funcionamiento de los equipos el mayor tiempo posible y que va de la mano con las recomendaciones de los fabricantes.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Mantener el funcionamiento de los equipos según los parámetros indicados por su fabricante, sin un funcionamiento excesivo.
- Realizar capacitaciones a los operadores de los equipos, para que tengan el conocimiento necesario a la hora de realizar las actividades de mantenimiento.
- Verificar las condiciones del agua en el sistema de ablandamiento, para evitar incrustaciones.
- Realizar las limpiezas periódicas de los circuitos de agua.
- Mantener el registro histórico de las detenciones con sus respectivos tiempos y pérdidas que estas producen, para poseer constancia y poder realizar nuevas intervenciones de mantenimiento.
- Utilizar las herramientas y elementos de seguridad necesarios al momento de realizar las actividades de mantenimiento.
- Respetar la periodicidad establecida de las actividades de mantenimiento.
- Continuar realizando actividades de mantenimiento preventivo y proactivo.

## **BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN**



1. AGENCIA chilena de eficiencia energética. y RODAENERGÍA. Programa de eficiencia energética en edificios públicos. Santiago, Chile. 2016.
2. ASOCIACIÓN de concesionarios de obras de infraestructura pública. Informe técnico de concesiones en hospitales. Santiago, Chile. 2016.
3. BAXI. Manual de instalación de calderas de condensación a gas. [s.a]
4. CHILECTRA. y AGENCIA chilena de eficiencia energética. Desarrollo de proyectos de eficiencia energética en hospitales de alta complejidad. Santiago, Chile. 2017.
5. DUEIK. Manual de instalación, operación y mantenimiento de calderas a vapor serie DSS y calentadores de agua serie DSW. Santiago, Chile. 2009.
6. GARCÍA González – Quijano, Javier. Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica. Madrid, España. 2004.
7. GÓMEZ de León, Félix. Tecnología del mantenimiento. 1998.
8. GONZÁLEZ Silva, Carlos. Manual de mantenimiento de los servicios de salud, instalaciones y bienes de equipos. 1996.
9. INSTITUTO nacional de la salud. Organización del mantenimiento en centros sanitarios. Madrid, España. 1990.
10. MIDEA. Manual técnico bombas de calor comercial aerotérmicas. [s.a]
11. MINISTERIO de salud. Decreto supremo 10. Santiago, Chile. 2013.
12. MINISTERIO de salud. Reglamento orgánico de los servicios de salud, decreto 140. Santiago, Chile. 2005.

13. MORA, Luis Alberto. Mantenimiento – planeación, ejecución y control. 2008
14. MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. 1997.
  
15. NORSOK Z 008. Análisis de criticidad para fines del mantenimiento. 2001.
  
16. PAREDES Vargas, Omar. y POSSO Burbano, Marlon. Diseño de una sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la generación, transporte y distribución de vapor del hospital Enrique Garcés. Memoria. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. 2011.
  
17. REY Martínez, Francisco. y VELASCO Gómez, Eloy. Bombas de calor y energía renovable en edificios. 2005.
  
18. SOCIEDAD de ingenieros automotrices, JA 1012. Guía para el mantenimiento centrado en la confiabilidad. 2002.
  
19. VERDECIA Fuste, Yeiner. Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad a equipos de combinado lácteo de morón. Memoria. Santa Clara, Cuba: Universidad central Marta Abreu de las Villas. 2009.

**ANEXOS**



**6.1 Anexo A: modos de fallos caldera de vapor.**

Hoja de trabajo de información MCC		Equipo: Caldera de vapor		Función principal: Producir 2.300 kg/h de vapor para los edificios del HGGB.			
		Componente: Cuerpo interno caldera.					
	Elemento		Falla Funcional		Modo de fallo		Efecto de los fallos
1	Caja de giro: Conducir los gases de la combustión para lograr realizar la transferencia de calor, depende de la cantidad de pasos de la caldera.	A	Fugas.	1	Mal estado de empaquetaduras.	1	Fuga de gas al exterior.
				2	Montaje incorrecto de la caja de giro.		
		B	Baja eficiencia de transferencia de calor.	1	Acumulación de hollín en la pared de la caja de giro.	1	Disminución de la tasa de transferencia de calor.
				2	Deterioro de refractario de la caja de humo.		
2	Espejo: Tapar el envolvente.	A	Desgaste del elemento.	1	Corrosión.	1	Espejos rotos o fisurados.
				2	Fatiga térmica.		
				3	Montaje inadecuado.		

						1	Acople con los tubos de fuego deteriorado.
3	Tubo de fuego. (Intercambiador de calor): Transferir el calor generado en el proceso de combustión al agua que lo rodea.	A	Baja tasa de transferencia de calor.	1 Trabajo de limpieza inadecuada y a destiempo. 2 Mala combustión. 3 Atomización inadecuada del combustible.  4 Corrosión. 5 Fatiga térmica. 6 Incrustaciones de partículas en el tubo de fuego.		1       1	Acumulación de Hollín. Transferencia de calor ineficiente. Mayor consumo de energía para realizar la transferencia de calor. Fisura o rotura de tubos. Fuga de los gases de la combustión.

Hoja de trabajo de información MCC	Equipo: Caldera de vapor	Función principal: Producir 2.300 kg/h de vapor para los edificios del HGGB.
	Componente: Sistema de control.	

	Elemento		Falla Funcional		Modo de fallo		Efecto de los fallos
1	Válvula de seguridad alivio de presión: Evacuar la presión excesiva generada dentro de la caldera	A	Avería del elemento.	1 2 3	Asiento de la válvula dañada. Daño del resorte por fatiga. Remordida por presencia de solidos e incrustaciones.	1	Sobrepresión. Explosión de la caldera.
2	Válvula de nivel de agua. (McDonnell): Controlar el encendido y apagado de las bombas de alimentación de agua y detiene el quemador cuando el nivel llega a una cota peligrosamente baja.	A	Avería del elemento	1 2 3	Asiento de la válvula dañada. Daño del resorte por fatiga. Remordida por presencia de solidos e incrustaciones.	1	Sobrecalentamiento. Sobrepresión. Explosión de la caldera.
3	Termómetro de impulsión y retorno.	A	Lectura incorrecta	1	Mala calibración.	1	Valores erróneos.

				2	Daño por golpes y vibraciones.		
4	Hand Hole: Compuerta dispuesta para realizar las labores de inspección, permitiendo el ingreso de una mano al interior de la caldera.	A	Falta de hermeticidad en el cierre.	1 2	Tuerca floja. Empaque deteriorado.	1	Fuga de vapor.
5	Man Hole: Compuerta dispuesta para realizar labores de inspección y mantenimiento, permite el acceso de una persona al interior de la caldera.	A	Falta de hermeticidad en el cierre.	1 2	Tuerca floja. Empaque deteriorado.	1	Fuga de vapor.
6	Válvula de purga: Permitir el desalojo de impurezas y lodos para	A	Avería del elemento.	1 2	Incrustaciones en la valvular. Obstrucción por sedimentos.	1	Impedimento en la salida del material particulado.

	evitar indicación errónea de presión.						Señal errónea de presión y temperatura.
7	Manómetro de presión de vapor: Indicar la presión de operación, para que sea registrado por el operador.	A	Trabajo ineficiente.	1 2	Daños por golpes o vibraciones. Calibración errónea.	1	Lecturas inexactas y erróneas. Sobrepresiones.
8	T de prueba: Suministrar la conveniencia para realizar la calibración del manómetro.	A	Lectura incorrecta	1	Lectura inexacta	1	Mala calibración del manómetro.
9	Presostato: Activa o desactiva el funcionamiento	A	Avería del elemento.	1			

10	Tubo de nivel: Indicar la cantidad de agua al interior de la caldera.	A	Indicación errónea.	1	Conducto tapado por sedimentos.	1	Sobrecalentamiento. Fuga de agua y vapor. Desgaste del tubo.
----	---	---	---------------------	---	---------------------------------	---	--

Hoja de trabajo de información MCC			Equipo: Caldera de vapor		Función principal: Producir 2.300 kg/h de vapor para los edificios del HGGB.		
			Componente: Conducto eliminación de gases.				
	Elemento		Falla Funcional		Modo de fallo		Efecto de los fallos
1	Termómetro de la chimenea: Medir la temperatura de los gases de salida.	A	No indica la temperatura correcta.	1	Ajuste inadecuado de los controles de temperatura.	1	Lecturas inexactas y erróneas de temperatura.
				2	Cañería tapada.		Sobrecalentamiento de la caldera.
				3	Acumulación de hollín.		
				4	Cambios bruscos de salida.		

2	Chimenea: Evacuar los gases de salida de la combustión hacia el exterior.	A	No existe salida de los gases de la combustión.	1	Desgaste de unión empaquetaduras.	1	Fugas.
				2	Golpes.		
				3	Corrosión.	1	Fisuras
				4	Vibraciones.		
				5	Obstrucción o deformación en el ducto.	1	Ahogamiento de la caldera por los gases de combustión que no son evacuados.

Hoja de trabajo de información MCC			Equipo: Caldera de vapor		Función principal: Producir 2.300 kg/h de vapor para los edificios del HGGB.		
			Componente: Quemador sistema diésel.				
	Elemento		Falla Funcional		Modo de fallo		Efecto de los fallos
1	Filtro: Retener las impurezas que contiene el diésel.	A	Avería del elemento.	1	Filtro tapado por impurezas del combustible.	1	No enciende la caldera.

2	Bomba de inyección: Bombear el combustible diésel hacia el quemador.	A	No bombea el combustible hacia la caldera.	1 2 3 4 5	Filtros taponados. Bolsas de aire. Daños del sistema motriz. Mal montaje de la bomba. Desgaste de unión y empaquetaduras.	1     1	No enciende la caldera.     Fuga del combustible.
3	Motor de la bomba de combustión: Accionar el funcionamiento de la bomba de combustión.	A	Motor no arranca, no transmite el giro a la bomba de combustible.	1 2 3 4 5	Baja tensión. Conexiones sueltas. Fusible quemado. Desalineación de ejes. Motor defectuoso.	1	No acciona la bomba.  No enciende la caldera.
4	Manómetros: Indicar la presión del combustible diésel para ser controlado y registrado por el operador.	A	Lectoras incorrectas	1 2	Daños por golpes o vibraciones. Mala calibración.	1	Lectura inexacta.  Presión excesiva del combustible.

5	Válvula de control de presión: Controlar la cantidad de combustible hacia la boquilla difusora.	A	Avería del elemento.	1 2 3	Sobrepresión en la válvula. Resorte dañado. Presión insuficiente.	1	Funcionamiento inadecuado de los quemadores.
6	Boquillas difusoras: Permitir la aplicación necesaria y correcta del combustible diésel.	A	Avería del elemento.	1 2 3	Mala calibración. Taponamiento de los pulverizadores. Taponamiento de los filtros.	1	Pulverización inadecuada.
		B	Falla en la alimentación de combustible.	1 2	Dosificación inadecuada de combustible. Formación de carbono por solidificación del combustible	1 1	Mala combustión. Exceso de combustible.
7	Interruptor: Evitar que el quemador se encienda a menos que el motor modulador, tiro forzado y las	A	No cumple su función.	1 2	Contactador quemado. Aumento de la presión en la caldera.	1	No enciende o no se apaga el quemador.

	válvulas estén en posición de bajo fuego.						
8	Electrodos: Permitir encender la llama del quemador para producir al combustión.	A	Desgaste del elemento.	1	Presencia de impurezas en los electrodos.	1	No se produce la chispa para la ignición de la caldera.
		B	Falla de la calibración.	1	Excesiva separación de los electrodos.		
		C	Fallos en el arranque.	1	Exceso de tensión.	1	Fusión de los electrodos.

Hoja de trabajo de información MCC		Equipo: Caldera de vapor			Función principal: Producir 2.300 kg/h de vapor para los edificios del HGGB.		
		Componente: Quemador sistema gas natural.					
	Elemento		Falla Funcional		Modo de fallo		Efecto de los fallos
1	Válvula principal del combustible: Proveer de corte del	A	Avería del elemento.	1	Acumulación de suciedad y sedimentos.	1	Siempre abierta.
				2	Avería del solenoide.		

	combustible hacia el quemador.	B	Desgaste del elemento.	1 2 3	Desgaste del resorte por fatiga. Contactores desgastados. Bobina quemada.	1  1	Encendido discontinuo de la llama.  No se abre.
2	Válvula solenoide piloto: Se acciona durante el periodo de ignición por el sistema de seguridad de la llama.	A  B	Avería del elemento.  Desgaste del elemento.	1 2  1 2	Solenoide averiado. Bobina quemada.  Desgaste del resorte por fatiga. Desgaste de contactores.	1	No se abre durante el proceso de ignición.
3	Regulador de presión: Regular la presión del gas independiente de la configuración realizada por el operador.	A	Desgaste del elemento	1 2	Daños de resortes por fatiga. Desgaste y rotura de diafragma.	1	Baja presión de gas para ignición en quemadores.
4	Válvula de corte de gas: Abrir o cerrar	A	Alimentación inadecuada de gas.	1	Obstrucción del mecanismo de apertura y cierre.	1	Encendido irregular de la caldera.

	manualmente la línea de gas al quemador.					
--	--	--	--	--	--	--

Hoja de trabajo de información MCC	Equipo: Caldera de vapor	Función principal: Producir 2.300 kg/h de vapor para los edificios del HGGB.
	Componente: Control de energía (Quemador).	

	Elemento		Falla Funcional		Modo de fallo		Efecto de los fallos
1	Motor modulador: Regular el tiro forzado y las válvulas de combustible.	A	Avería del elemento	1	Des calibración de las compuertas, ángulo inadecuado.	1	Aire insuficiente para la combustión.
				2	Tensión excesiva y filtración de agua hacia la tarjeta.	2	Tarjeta quemada.
				3	Levas des calibradas.	1	Mal funcionamiento del motor.
				4	Incrustaciones de sólidos.		
				5	Microswitch quemado.		

2	Tablero de control: Permitir encender el quemador manualmente.	A	Perdida de la función.	1	Contactador quemado.	1	No enciende o se apaga el motor manualmente.
---	---	---	------------------------	---	----------------------	---	--

Hoja de trabajo de información MCC			Equipo: Caldera de vapor		Función principal: Producir 2.300 kg/h de vapor para los edificios del HGGB.		
			Componente: Control de aire. (Quemador)				
	Elemento		Falla Funcional		Modo de fallo		Efecto de los fallos
1	Compuerta: Permitir el flujo de aire para la combustión.	A	Avería del elemento	1	Motor modulador mal calibrado.	1	Flujo de aire inadecuado para la combustión.
				2	Eje del motor modulador remordido.		

2	Difusor: Distribuir el aire al tubo central de combustión.	A	Avería del elemento	1 2	Acumulación de hollín. Rotura de alabes del difusor.	1	No se produce la entrada de aire al tubo central.
3	Ventilador de aire tiro forzado: Generar movimiento rotativo turbulento al aire como comburente al quemador.	A	Avería del elemento	1 2 3	Excesivas horas de trabajo. Baja tensión. Diseño defectuoso de ángulo de ataque de las aspas.	1 2 3	Desgaste de aletas. Bajas de rpm del motor. Insuficiente entrada de aire para una combustión correcta.

## 6.2 Anexo B: modos de fallos de bomba de calor

Hoja de trabajo de información MCC		Equipo: Bomba de calor.		Función principal: Generar agua caliente sanitaria.	
Elemento/Función	Falla Funcional	Modo de fallo	Efecto de los fallos		

1	Compresor: Aumentar la presión del refrigerante proveniente del evaporador para ser enviado al condensador.	A	No se acciona.	1	Error de alimentación.	1	El refrigerante no aumenta su presión, no se realiza el cambio de fase.
				2	Conexión del cable se afloja.		
				3	Error relé o fusible.		Detención del sistema frigorífico.
		B	Funciona pero posee ruido extraño.	1	Daño en los componentes internos del compresor.	1	Calentamiento del componente.
				2	Líquido refrigerante fluye hacia el compresor y produce golpes de líquidos.		
		C	Opera sin calefacción.	1	Fuga de refrigerante.	1	No se genera calefacción.
				2	Error de compresor.		
2	Ventilador: Extraer o desalojar el aire utilizado como emisor de energía calorífica.	A	Extrae aire pero existe presencia de ruido extraño.	1	Se afloja el tornillo de fijación del ventilador.	1	Ventilador funciona inestable.
				2	La cuchilla del ventilador toca la cubierta o la pantalla		
		B	No se acciona.	1	Problema en el motor del ventilador	1	No produce la extracción o desalojo de aire.
				2	Error de alimentación.		
				3	Conexión del cable aflojada.	2	No hay transferencia de calor.
						3	

		C	Flujo de aire insuficiente.	1	Acumulación de polvo y basura en filtro de aire.	1	No se produce el agua de calefacción. Menor flujo de aire, transferencia deficiente.
3	Válvula solenoide (circuito de agua): Regula el flujo del agua a través del circuito.	A	Agua no circula.	1	Aire en el sistema de agua.	1	No se genera agua de calefacción.
		B	Desgaste del elemento.	1	Desgaste del resorte. Fatiga del material.		Siempre abierta.
				2	Contactores desgastados.		Siempre cerrada.
		C	Avería del componente.	1	Bobina quemada.		
				2	Solenoides averiados.		
4	Condensador: Intercambiar calor entre el refrigerante sobrecalentado y el agua para calefacción.	A	No transfiere calor al agua.	1	Mal aislamiento del sistema de agua.	1	No genera agua caliente sanitaria.
				2	Falta de refrigerante.		
				3	Bloqueo del intercambiador.		
		B	Transferencia deficiente.	1	Posee depósitos de carbonato de calcio u otros minerales (Incrustaciones).	1	
						2	

						3	<p>No es eficiente energéticamente.</p> <p>Menor rendimiento de transferencia de calor.</p> <p>Mayor consumo de potencia.</p>
5	<p>Evaporador:</p> <p>Intercambiar calor entre el medio (aire) y el refrigerante que se encuentra como vapor húmedo y condensado para cambiar su fase a gas.</p>	A	No transfiere calor al refrigerante.	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p>	<p>Falta del refrigerante.</p> <p>Fuga de refrigerante.</p> <p>No existe emisor de energía calorífica. (Extracción de aire).</p>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>Transferencia deficiente.</p> <p>No se produce cambio de fase del refrigerante de líquido a vapor.</p>
6	<p>Válvula solenoide (sistema frigorífico):</p> <p>Regular el paso del fluido frigorífico hacia el evaporador.</p>	A	Avería del elemento.	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p>	<p>Obstrucción en el sistema.</p> <p>Fusible quemado.</p> <p>Desgaste del elemento.</p>	1	No hay flujo de líquido refrigerante.

7	Válvula de 4 vías: Regular el flujo del refrigerante desde la descarga del compresor hacia el condensador, invierte el sentido del flujo de calor.	A	No funciona	1 2 3	Fusible quemado. Desgaste del componente. Obstrucción en el sistema.	1 1	No se produce la inversión del sentido de flujo. Refrigerante fluye sin regulación hacia el condensador.
8	Válvula de expansión: Reducir la presión del líquido refrigerante y regular el paso del fluido al evaporador.	A	Avería del elemento.	1 2 3	Humedad puede producir congelación de la válvula. Erosión en la aguja de válvula. Presencia de impurezas, material alojado en la válvula.	1	Fluctuación en la alimentación del refrigerante. Fuga del líquido refrigerante. No hay flujo de líquido refrigerante.
9	Presostato: Regular el funcionamiento del compresor, por lo tanto, controla la marcha del sistema.	A  B	Desconexión del presostato.	1 2 3  1	Presión del condensado demasiado alta. Superficies del condensador sucias u obstruidas. Demasiado refrigerante en el sistema.  Mal ajuste del presostato de baja.	1 2 1	No se activa el funcionamiento del compresor. No hay funcionamiento del sistema frigorífico.

		C	<p>Tiempo de funcionamiento del compresor demasiado cortó.</p> <p>Vibraciones de presostato de alta.</p>	<p>2</p> <p>3</p> <p>1</p>	<p>Mal ajuste del presostato de alta, demasiado próximo a la presión normal.</p> <p>Presión del condensado elevada, superficies obstruidas, aire en el sistema.</p> <p>Aire frío crea condensación en el elemento.</p>	1	<p>La presión del refrigerante no se eleva lo suficiente</p> <p>Medición errónea de la presión.</p>
10	Purga: Eliminar gases no condensables del sistema frigorífico.	A	Avería del elemento.	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p>	<p>Obstrucciones en la válvula.</p> <p>Desgaste del resorte.</p> <p>Fatiga del material</p>	1	<p>Perdida de la apertura de la válvula.</p> <p>Perdida del efecto frigorífico.</p>
11	Filtro deshidratador: Eliminar humedad presente en el sistema frigorífico.	A	Filtro tapado.	<p>1</p> <p>2</p> <p>3</p>	<p>Demasiada humedad en el sistema refrigerante por utilizar refrigerante de baja calidad.</p> <p>Recipiente de aceite abierto absorbe la humedad.</p> <p>Falta de estanqueidad en el sistema frigorífico.</p>	1	<p>Excesiva caída de presión.</p> <p>Perdida de efecto frigorífico.</p>

**6.3 Anexo C: modos de fallos calderas de condensacion.**

Hoja de trabajo de información MCC		Equipo: Caldera de condensación.			Función principal: Generar agua caliente sanitaria.		
	Elemento/Función		Falla Funcional		Modo de fallo		Efecto de los fallos
1	Bomba re-circuladora: Bombear el agua caliente sanitaria hacia el manifold de distribución.	A	No bombea.	1	Bomba quemada.	1	No existe suministro de agua caliente sanitaria.
		B	Bombeo deficiente.	2	Bloqueo de la bomba.		
				3	Alimentación eléctrica defectuosa.		
				1	Obstrucción por impurezas y sedimentos.	1	Caída de presión. Mayor consumo de potencia.
2	Válvula de seguridad: Liberar la presión del sistema en caso de que sobre pase la presión máxima de trabajo.	A	No abre a la presión de alivio.	1	Asiento de la válvula dañada.	1	Sobrepresión.
				2	Elemento extraño en la válvula.		Explosión de caldera.
				3	Incrustaciones o sedimentos en la válvula.		

3	Conducto evacuador de humos: Evacuar los gases de salida de la combustión hacia el exterior.	A	No salen completamente los gases de combustión.	1 2 3 4	Tiro insuficiente. Conducto sucio con obstrucción producto de los gases de salida. Desgaste de las uniones. Deformación del conducto.	1 2 3	Olor a gases quemados. Fugas de gases. Ahogamiento de la caldera por no evacuar los gases.
4	Intercambiador de calor: Transfiere el calor del vapor de los gases de combustión al agua en su interior.	A	Baja tasa de transferencia de calor.	1 2 3	Incrustaciones en el circuito por el lado del agua. Mala combustión. Atomización inadecuada del combustible.	1	No aumenta la temperatura del agua. Elevada temperatura de los gases de salida. Mayor consumo de energía. Disminuye el rendimiento.
5	Válvula de gas: Regular el flujo de gas natural para la combustión en el quemador.	A B	No regula el gas. Desgaste del elemento.	1 2 1	Acumulación de suciedad y sedimentos. Avería del solenoide. Desgaste del resorte por fatiga.	1	Explosiones en el quemador. No existe presencia de gas. Encendido discontinuo de la llama.

				2	Bobina quemada.		No se abre. Siempre abierta.
6	Presostato: Interrumpe o acciona el circuito del quemador dependiendo de la presión indicada del gas o del aire de la combustión.	A	Avería del elemento.	1 2	Error en la calibración. Error en la conexión.	1	Quemador no enciende. Quemador no se detiene.
7	Manómetro: Indicar la presión de operación para su control y registro del operador.						
8	Válvula purga: Desalojar sedimentos o impurezas para liberar la presión de la caldera.	A	No desaloja los sedimentos.	1 2 3 4	Incrustaciones en la válvula. Obstrucción por sedimentos. Desgaste del resorte. Fatiga del material.	1	Se calienta la caldera pero no los radiadores. Aumento de la presión en la caldera.

9	Electrodos de ionización: Detectar la llama, rectificar la corriente eléctrica que envía a la placa electrónica, informándola de existencia de llama.	A	No mantiene el encendido de la llama.	1 2 3 4	Distancia errónea de los electrodos por mal montaje.  Corto circuito de masa.  Electrodo defectuoso o sucio.  No penetra la llama.	1  1	No enciende el quemador.  Enciende el quemador pero se apaga luego de unos segundos.
10	Electrodo de encendido: Accionar el encendido del quemador y debe penetrar ligeramente el borde de la llama, para no influir en la corriente de ionización.	A	No enciende	1 2	Distancia del electrodo incorrecto.  Electrodo defectuoso.	1	Mal comportamiento de encendido.
11	Ventilador: Extraer el aire y enviarlo al cajón acumulado en	A	Desgaste del ventilador.	1 2	Exceso de funcionamiento  Baja tensión.	1	Quemador no enciende.  Mezcla de gas y aire deficiente.

	quemador como comburente.	B	No extrae aire.	3 Ventilador sucio. 1 Motor defectuoso. 2 Error de alimentación.		No se produce combustión.
12	Quemador: Generar la combustión entre el gas natural y el comburente.	A	Quemador no enciende.	1 Error en la alimentación eléctrica. 2 Sensor de llama interrumpido. 3 Transformador de encendido defectuoso. 4 Motor eléctrico defectuoso.	1	No se produce la combustión. No se produce la transferencia de calor.
		B	Explosiones al encender.	1 Cuerpo de la caldera extremadamente sucio. 2 Llama mal regulada. 3 Falta de alimentación de gas.	1	Combustión deficiente. Transferencia de calor deficiente.

**6.4 Anexo D: criticidad caldera de vapor**

SISTEMA GENERADOR DE VAPOR			
	FUNCIÓN PRINCIPAL (MF)	DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN	REDUNDANCIA
1	Ablandar agua para caldera.	Sistema de tratamiento químico del agua potable para reducir contenido de sales minerales para evitar incrustaciones en los tubos de la caldera.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
2	Acumular agua para caldera	Acumulación del agua pre calentada en un estanque de 30000 l para alimentar la caldera.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
3	Bombear agua a caldera	Bombea agua desde el estanque acumulador hacia la caldera según sea requerido por el sensor de nivel de la caldera.	C: Dos a más unidades pueden fallar al mismo tiempo sin afectar la producción.
4	Generar vapor (Caldera de vapor)	Generación de 2.300 kg/h de vapor, con una presión de trabajo de 6,12 kg/cm <sup>2</sup> , cuya disponibilidad debe ser 24/7 según la solicitud de los usuarios controlado por el sistema automático.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
5	Distribuir de vapor	Manifold distribuidor de vapor hacia sub estaciones y edificios TPC y monoblock	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para

			evitar la pérdida de producción.
--	--	--	----------------------------------

### EVALUACIÓN DE LA CONSECUENCIA

Funciones principales	Evaluación de la pérdida de la función	R	HSE	P	C	Criticidad
Ablandar agua	R: No hay redundancia. – HSE: Potencial de lesiones, posible fuga de sustancia químicas corrosivas. Sin riesgo de incendio ni contaminación. .	Un	M	N/A	N/A	2A
Acumular agua	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones riesgo de incendios ni contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1A
Bombear agua	R: Dos o más unidades paralelas para suplir la función. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, riesgo de incendio y contaminación	C	L	N/A	N/A	1C
Generar vapor.	R: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones, riesgos de explosión por sobre presiones	Un	H	N/A	N/A	3A
Distribuir vapor.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidades de lesiones, riesgo de incendio y contaminación	Un	L	N/A	N/A	1A

### SUB-FUNCIONES

CALDERA DE VAPOR.		
Sub-función.	Descripción de la función.	Redundancia.

Generar combustión.	Generación de la combustión, produce la mezcla entre el comburente y el combustible en este caso gas natural en la cámara de combustión de la caldera con una eficiencia de ...	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Contener fluidos.	El cuerpo de la caldera contiene el agua de alimentación y el vapor producido en la caldera, área en donde se ubica el intercambiador de calor para la transferencia de calor, se encuentra aislado a través de un envolvente para evitar la pérdida de calor, y es el sector por donde desalojan los humos de la combustión.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Intercambiador de calor.	Zona de tubos en donde se produce la transferencia de calor entre los gases calientes que circular por el interior de los tubos y el agua que los rodea para generar vapor.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Desalojar gases de la combustión.	Medir la temperatura de salida de los gases y humos de la combustión y dirigirlos al exterior.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Indicadores.	Indican los valores de presión, temperatura y nivel de agua para la interpretación del operador e indicar a los sensores para su control.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.

Controlar	A través de los indicadores se activan o desactivan los sistemas de control de nivel de agua, sobrepresiones y desalojo de sedimentos.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Inspeccionar	Compuertas presentes en la caldera para inspecciona, limpiar y rapar el equipo.	B: Una unidad paralela puede sufrir una avería sin influir en la producción.

#### EVALUACIÓN DE LA CONSECUENCIA DE LA PÉRDIDA DE LA SUB-FUNCIÓN

Sub-función.	Evaluación de la perdida de la función	R	HS E	P	C	Criticidad
Generar combustión.	R: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones, líquidos y gases altamente inflamables.	Un	H	N/A	N/A	3A
Contener fluidos.	R: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones, riesgo de incendios y explosiones.	Un	H	N/A	N/A	3A
Intercambiar de calor.	R: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones, riesgo de incendios y explosiones.	Un	H	N/A	N/A	3A
Desalojar gases de la combustión.	R: No hay redundancia. – HSE: Posibilidad de lesiones por desalojo de gases tóxicos, no hay	Un	M	N/A	N/A	2A

	riesgo de incendio ni contaminación medio ambiental.					
Indicar.	R: No hay redundancia. – HSE: Potencial de grave lesiones, riesgo de incendio.	Un	M	N/A	N/A	2A
Controlar.	R: No hay redundancia. – HSE: Potencial de grave lesiones, riesgo de incendio.	Un	H	N/A	N/A	3A
Inspeccionar.	R: Una unidad paralela puede suplir avería sin influir en la producción. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, sin riesgo de incendio ni contaminación	B	L	N/A	N/A	1B

### 6.5 Anexo E: criticidad de bombas de calor y calderas de condensación.

SISTEMA GENERADOR DE ACS Y ACC			
	FUNCIÓN PRINCIPAL (MF)	DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN	REDUNDANCIA
1	Calentar el agua.	Sistema principal que calienta constantemente el agua proveniente del estanque de inercia entre 30 y 49 °C para ser enviados a los intercambiadores de calor y generar agua caliente sanitaria.	B: Una unidad paralela puede sufrir una avería sin influir en la producción.
2	Bombear agua.	Bombea agua fría acumulada en el estanque de inercia hacia las bombas de calor.	B: Una unidad paralela puede sufrir una avería sin influir en la producción.

3	Almacenar agua.	Acumula y modula la energía aportada por las bombas de calor para calentamiento de ACS.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
4	Bombear agua.	Bombea el agua proveniente desde el manifold de distribución hacia los intercambiadores de calor 1 y 2.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
5	Bombear agua.	Bombea el agua caliente acumulada en el estanque de inercia hacia los intercambiadores de calor 3 y 4.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
6	Intercambiar calor.	Intercambio de calor entre el agua proveniente de las calderas de condensación que entrega la energía calorífica al agua suministrada desde los intercambiadores 3 y 4 para ser utilizada como agua caliente sanitaria con una temperatura de 44 a 47 °C.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
7	Intercambiar calor.	Intercambio de calor entre el agua proveniente desde el estanque de inercia y el	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es

		agua sanitaria de retorno la cual es enviada a los intercambiadores 1 y 2 para continuar la transferencia de calor.	necesario para evitar la pérdida de producción.
8	Calentar el agua.	Sistema principal que calienta el agua proveniente del manifold de retorno a una temperatura de 50 a 75 °C y es enviada hacia el manifold de distribución para calefacción y a los intercambiadores de calor 1 y 2 para agua caliente sanitaria.	B: Una unidad paralela puede sufrir una avería sin influir en la producción.
9	Distribuir el agua.	Distribuir el agua caliente para ser puesta en servicio.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
10	Distribuir el agua.	Distribuir el agua de retorno hacia los sistemas para repetir el ciclo de transferencia de calor.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.

EVALUACIÓN DE LA CONSECUENCIA DE LA PÉRDIDA DE LA FUNCIÓN

Funciones principales	Evaluación de la pérdida de la función	R	HSE	P	C	Criticidad
Calentar el agua.	R: Una unidad paralela puede sufrir avería sin influir. – HSE: Potencial de lesiones que	B	M	N/A	N/A	2B

	requieren tratamiento médico (liquido menor a 50 °C), efecto limitado bajo el sistema de seguridad y sin riesgo de incendio.					
Bombear el agua.	R: Una unidad paralela puede sufrir avería son influir. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio, contaminación o efecto sobre los sistemas de seguridad.	B	L	N/A	N/A	1B
Almacenar agua.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio, contaminación o efecto sobre los sistemas de seguridad.	Un	L	N/A	N/A	1A
Bombear el agua.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio, contaminación o efecto sobre los sistemas de seguridad.	Un	L	N/A	N/A	1A
Bombear el agua.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio, contaminación o efecto sobre los sistemas de seguridad.	Un	L	N/A	N/A	1A
Intercambiar calor.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio, contaminación o efecto sobre los sistemas de seguridad.	Un	L	N/A	N/A	1A
Intercambiar calor.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio,	Un	L	N/A	N/A	1A

	contaminación o efecto sobre los sistemas de seguridad.					
Calentar el agua.	R: Una unidad paralela puede sufrir avería sin influir. – HSE: Potencial de grave lesiones (líquido superior a 50 °C), riesgo de incendio (combustible gas natural).	B	H	N/A	N/A	3B
Distribuir el agua.	R: No hay redundancia. – HSE: no hay posibilidad de lesiones, ni hay posibilidad de incendio o riesgo de seguridad.	Un	L	N/A	N/A	1A
Distribuir el agua.	R: No hay redundancia. – HSE: no hay posibilidad de lesiones, ni hay posibilidad de incendio o riesgo de seguridad.	Un	L	N/A	N/A	1A

#### SUB-FUNCIONES

BOMBA DE CALOR		
Sub-función.	Descripción de la función.	Redundancia.
Aumentar la presión.	Aumenta la presión del refrigerante en estado gaseoso y sobrecalentado proveniente del evaporador, hasta una presión que favorece el paso de estado gas a líquido en el condensador.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Extraer y desalojar el aire.	Extraer aire del ambiente como medio de energía calorífica cedida al refrigerante, y luego desalojar el aire frío precedente de la transferencia de calor.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para

		evitar la pérdida de producción.
Regular flujo de agua.	Regula el flujo de agua proveniente desde el estanque inercial hacia el circuito de intercambio de calor.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Intercambiar calor.	Intercambio de calor entre el refrigerante en estado de vapor sobrecalentado y a elevada presión procedente del compresor, y el agua que circula por el interior del condensador.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Intercambiar calor.	Intercambio de calor entre el refrigerante procedente del sistema de expansión como vapor húmedo y el medio, aire en este caso que cede calor al refrigerante.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Regular flujo.	Regula el paso del refrigerante en los circuitos frigoríficos.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Regular flujo.	Regula el flujo de refrigerante desde la descarga del compresor hacia el condensador e invierte el sentido de flujo del calor.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.

Regular y expandir.	Regular el flujo del refrigerante hacia el evaporador y reducir la presión del líquido refrigerante.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Controlar.	Detener el compresor en caso de alcanzar presión elevada en el condensador y detener el compresor cuando la presión de aspiración es muy baja en el evaporador.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Purgar.	Eliminar o purgar los gases no condensables sin parar la máquina.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Filtrar.	Filtrar impurezas y humedad existente en el líquido refrigerante.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.

EVALUACIÓN DE CONSECUENCIA DE LA PÉRDIDA DE LAS SUB-FUNCIONES.

Sub-funciones	Evaluación de la pérdida de la función	R	HSE	P	C	Criticidad
Aumentar la presión.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación. –	Un	L	N/A	N/A	1A

Extraer y desalojar aire.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1A
Regular flujo de agua	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1A
Intercambiar calor.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1A
Intercambiar calor.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1A
Regular flujo refrigerante.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1A
Regular flujo de refrigerante	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1A
Regular y expandir.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1A
Controlar.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1 A

Purgar.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1 A
Filtrar.	R: No hay redundancia. – HSE: No hay posibilidad de lesiones, no hay riesgo de incendio y sin posibilidad de contaminación.	Un	L	N/A	N/A	1 A

#### SUB-FUNCIONES

CALDERA DE CONDENSACIÓN		
Sub-función.	Descripción de la función.	Redundancia.
Bombear agua.	Bombea el agua caliente precedente del intercambio de calor, hacia el manifold de distribución.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Aliviar presión.	Libera la presión en el sistema en caso de superar la presión máxima de 6,12 kg/cm <sup>2</sup> .	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Desalojar gases.	Desaloja los gases luego de la combustión, posee elementos retardadores para mejorar el coeficiente de transferencia de calor y aumentar el rendimiento.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Intercambiar calor.	Transferencia de calor entre los vapores de agua provenientes de la	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es

	combustión y el agua que circula por el interior del intercambiador de calor.	necesario para evitar la pérdida de producción.
Regular flujo de gas.	Regula el flujo de gas al quemador según la presión y temperatura presenta en la zona de combustión.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Controlar y regular.	Controlar y regular el encendido del quemador con el electrodo de ionización.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Controlar.	Sistema de control de temperatura y presión que dependiendo de los valores presentes, activan o desactivan la válvula de distribución de gas natural al quemador.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Purgar.	Eliminar el condensado producto de la transferencia de calor y el exceso de aire de la combustión, evitando valores erróneos de presión.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.
Generar combustión.	Generar la combustión del gas natural y el comburente en cantidades y condiciones adecuadas para ello posee una unidad de pre-mezcla de aire y combustible.	Un: No hay redundancia la totalidad de MF es necesario para evitar la pérdida de producción.

EVALUACIÓN DE LA CONSECUENCIA DE LA PÉRDIDA DE LA SUB-FUNCIÓN

Sub-funciones	Evaluación de la perdida de la función	R	HSE	P	C	Criticidad
Bombear agua.	Un: No hay redundancia. – HSE: Potencial de lesiones, liquido superior a 50 °C, no hay riesgo de incendio, efecto limitado sobre seguridad.	Un	M	N/A	N/A	2 A
Aliviar presión.	Un: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones, riesgo de incendio, sistema crítico.	Un	H	N/A	N/A	3A
Desalojar gases.	Un: No hay redundancia. – HSE: Potencial de lesiones (gases tóxicos), no hay riesgo de incendio ni efecto sobre el sistema de seguridad.	Un	M	N/A	N/A	2A
Intercambiar calor.	Un: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones, riesgo de incendio, sistema crítico.	Un	H	N/A	N/A	3 A
Regular flujo de gas.	Un: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones, riesgo de incendio, sistema crítico.	Un	H	N/A	N/A	3 A
Controlar y regular.	Un: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones, riesgo de incendio, sistema crítico.	Un	H	N/A	N/A	3 A
Controlar.	Un: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones,	Un	H	N/A	N/A	3A

	riesgo de incendio, sistema crítico.					
Purgar.	Un: No hay redundancia. – HSE: Potencia de lesiones, efecto limitado sobre la seguridad, no hay riesgo de incendio.	Un	M	N/A	N/A	2A
Generar combustión.	Un: No hay redundancia. – HSE: Potencial de graves lesiones, riesgo de incendio, sistema crítico.	Un	H	N/A	N/A	3A

**6.6 Anexo F: plan de mantenimiento caldera de vapor**

Hoja de información RCM	Equipo	Caldera de vapor.	Criticidad del Equipo.	3ª
D: Diario                      M: Mensual.                      T: Trimestral                      S: Semestral                      A: Anual				
Componente	Criticidad	Tareas de mantenimiento	Periodicidad	
Quemador sistema gas natural y diésel.	3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar estanquidad y obstrucciones en la válvula de alimentación de gas y diésel, válvula de corte.</li> <li>• Comprobar funcionamiento y distancia de electrodos. (cambiar en caso de fallo).</li> <li>• Verificar funcionamientos de los elementos de control.</li> <li>• Comprobar el correcto funcionamiento del motor del ventilador.</li> <li>• Verificar alimentación eléctrica del motor.</li> <li>• Detección de fugas en la red de alimentación de combustible.</li> <li>• Registro del consumo de combustible.</li> <li>• Registro de consumo de energía eléctrica.</li> <li>• Revisión y limpieza de filtros, electrodos y boquillas de pulverización de combustible diésel.</li> <li>• Verificar estanquidad del quemador.</li> <li>• Revisar empaquetadura de quemador.</li> </ul>	M	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar pruebas de corte de las válvulas de combustible.</li> <li>• Calibrar los elementos de control.</li> </ul>	S	

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar limpieza de quemador y ventilador.</li> <li>• Realizar apriete de terminales eléctricos.</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambiar empaquetaduras del quemador.</li> </ul>	A
Cuerpo de la caldera	3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar nivel de agua de la caldera.</li> </ul>	D
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar estanquidad del cuerpo de caldera.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar e inspeccionar el fondo húmedo de la caldera, incluidos todos los controles de nivel de agua, tuberías y fitting.</li> <li>• Retirar hollín de la caja de giro.</li> </ul>	S
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar condición de refractario, cambiar o reparar de ser necesario.</li> <li>• Cambiar las empaquetaduras del hogar.</li> <li>• Reemplazar empaquetaduras del fondo húmedo.</li> <li>• Lubricar pernos, prisioneros, tuercas y placas de tubos.</li> </ul>	A
Intercambiador de calor.	3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir temperatura de agua de entrada y presión de salida del vapor.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza interior y exterior de los tubos del intercambiador de calor.</li> </ul>	S
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión del aislante térmico.</li> <li>• Comprobar que no exista corrosión o fatiga en el material.</li> </ul>	A

Conducto eliminación de humo.	2A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir temperatura de los gases de la combustión, para comprobar la transferencia de calor.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza del circuito de humo.</li> </ul>	S
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir la emisión de CO<sub>2</sub>.</li> <li>• Limpieza de ducto y chimenea.</li> <li>• Verificar tiraje del conducto.</li> </ul>	A
Indicadores.	2A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el funcionamiento de los elementos indicadores, termómetros, presostato, termostato y manómetro.</li> <li>• Verificar el estado del tubo de nivel.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibración de los elementos indicadores, termómetro, presostato, termostato y manómetro.</li> <li>• Limpieza y purga del tubo de nivel.</li> </ul>	S
Elementos de control.	3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar que las válvulas de seguridad, control de nivel y purga, no tengas obstrucciones en el cuerpo.</li> <li>• Verificar si existe presencia de incrustaciones en las válvulas.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar pruebas de cierre y apertura de válvula de seguridad.</li> </ul>	S
Inspección.	1B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar el estado de las empaquetaduras de las puertas de inspección Manway y Handhole.</li> <li>• Verificar estanquidad de puertas de inspección.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reemplazar empaquetaduras de Manway y Handhole.</li> </ul>	A

**6.7 ANEXO G: PLAN DE MANTENIMIENTO BOMBA DE CALOR**

Hoja de información RCM		Equipo	Bomba de calor aerotérmica.	Criticidad del Equipo.	2B	
		D: Diario	M: Mensual.	T: Trimestral	S: Semestral	A: Anual
Componente	Criticidad	Tareas de mantenimiento			Periodicidad	
Compresor	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que no exista presencia de ruidos extraños y vibraciones.</li> </ul> <p>En caso de fallo, se realiza el cambio del compresor por ser del tipo hermético. (Mantenimiento correctivo).</p>			M	
Ventilador	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de potencia absorbida.</li> <li>• Revisión de aspas, sin deformaciones y tornillos de sujeción verificar que no se encuentren sueltos.</li> <li>• Comprobar correcto funcionamiento de motor.</li> <li>• Revisión de terminales eléctricos, realizar apriete de ser necesario.</li> <li>• Limpieza del componente.</li> </ul>			M	
Válvula solenoide (agua).	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar estanquidad del componente.</li> <li>• Revisión de solenoide, comprobar alimentación eléctrica.</li> <li>• Comprobar que no existan incrustaciones en el componente.</li> </ul>			S	
Condensador.	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir temperatura del fluido en la entrada y salida del condensador.</li> <li>• Revisar si existe pérdida de presión.</li> </ul>			M	

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia absorbida.</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza del condensador por lado del agua con ácido orgánico.</li> <li>• Revisión del estado de aislamiento térmico.</li> </ul>	A
Evaporador	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir temperatura del fluido en la entrada y salida del condensador.</li> <li>• Revisar si existe pérdida de presión.</li> <li>• Potencia absorbida.</li> <li>• Revisión de niveles de refrigerante.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza del evaporador con ácido orgánico.</li> </ul>	A
Válvula solenoide (sistema frigorífico).	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar estanquidad del componente.</li> <li>• Revisión de solenoide, comprobar alimentación eléctrica.</li> <li>• Comprobar que no existan incrustaciones en el componente.</li> </ul>	S
Válvula 4 vías.	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar estanquidad del componente.</li> <li>• Comprobar que no existan incrustaciones en el componente.</li> <li>• Verificar fusible.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenar y limpiar el circuito frigorífico.</li> </ul>	S

Válvula de expansión.	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar estanquidad del componente.</li> <li>• Comprobar que no existan incrustaciones en el componente.</li> <li>• Verificar fusible.</li> <li>• Comprobar niveles de refrigerante.</li> </ul>	M
Controladores.	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar los valores de temperatura y presión en el tablero de control son los indicados por los componentes.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibrar elementos controladores.</li> </ul>	S
Válvula Purga.	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar que no existan obstrucciones.</li> <li>• Comprobar que no existan incrustaciones o lodos alojados en el cuerpo de la válvula, limpiar de ser necesario.</li> </ul>	M
Filtros deshidratadores.	1A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar la estanquidad en sistema frigorífico.</li> <li>• Revisión de los depósitos de aceite, comprobar se encuentren cerrados.</li> <li>• Limpiar filtros de aceite.</li> </ul>	M

**6.8 ANEXO H: PLAN DE MANTENIMIENTO CALDERA DE CONDENSACIÓN**

Hoja de información RCM	Equipo	Caldera de condensación.	Criticidad del Equipo.	3ª
D: Diario                      M: Mensual.                      T: Trimestral                      S: Semestral                      A: Anual				
Componente	Criticidad	Tareas de mantenimiento	Periodicidad	
Bomba.	2A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir corriente.</li> </ul>	M	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar si existen vibraciones conjunto motor bomba por contacto o instrumentación.</li> </ul>	T	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar filtros de bomba.</li> <li>• Prueba de funcionamiento de circulación de agua.</li> </ul>	S	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de sellos y empaquetaduras.</li> <li>• Verificar condición rodete.</li> </ul>	A	
Válvula de seguridad.	3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar apertura y cierre.</li> <li>• Comprobar estanquidad del componente.</li> <li>• Comprobar que no existan incrustaciones en el componente.</li> <li>• Revisar elementos de control.</li> </ul>	M	
	2A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir temperatura de salida de los gases de la combustión.</li> </ul>	M	

Conducto de humos.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de circuito de humos.</li> </ul>	S
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de conducto de humo y chimenea.</li> <li>• Medir la salida del contenido de CO<sub>2</sub></li> <li>• Verificar el tiraje del conducto.</li> <li>• Cambio de uniones del ducto.</li> </ul>	A
Intercambiador de calor.	3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar eficiencia en la transferencia de calor.</li> <li>• Medir temperatura de entrada y salida del agua.</li> <li>• Búsqueda de fuga de agua.</li> <li>• Verificar combustión del quemador.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar limpieza de los tubos del intercambiador por interior y exterior.</li> <li>• Medir el consumo de agua.</li> </ul>	A
Válvula de gas.	3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar apertura y cierre.</li> <li>• Comprobar estanquidad del componente.</li> <li>• Comprobar que no existan impurezas en el componente.</li> <li>• Detección de fugas en la línea de alimentación de combustible.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar pruebas de funcionamiento de corte de suministro de gas.</li> </ul>	S

Control y regulación de encendido.	3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar distancia de los electrodos de encendido e ionización.</li> <li>• Verificar que se encuentren en buen estado los electrodos de encendido e ionización.</li> <li>• Verificar que no exista corto circuitos en la masa de los electrodos.</li> </ul> <p>En caso de fallo cambiar los electrodos.</p>	M
Elementos de control.	3A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que los valores de temperatura y presión en el tablero de control son los indicados por los componentes.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibrar los elementos de control.</li> </ul>	S
Válvula de purga.	2A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar que no existan obstrucciones.</li> <li>• Comprobar que no existan incrustaciones o lodos alojados en el cuerpo de la válvula, limpiar de ser necesario.</li> </ul>	M
Quemador	3A	Comprobar la partida del quemador, en caso de no encender luego del tiempo de seguridad, es necesario resetear el quemador.	D
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección de fugas de la red de alimentación de combustible.</li> <li>• Registrar el consumo de combustible.</li> <li>• Verificar el funcionamiento del ventilador y motor.</li> <li>• Verificar la alimentación eléctrica del motor.</li> <li>• Verificar estanquidad de quemador.</li> </ul>	M
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza de quemador y ventilador.</li> </ul>	A

